

**INTRODUCCION
AL
ANALISIS SINERGETICO
DE LA
ARQUITECTURA Y EL URBANISMO**

TESIS DOCTORAL

TOMO - I

RAMON RIVERA LOPEZ

12

**INTRODUCCION
AL
ANALISIS SINERGETICO
DE LA
ARQUITECTURA Y EL URBANISMO**

TESIS DOCTORAL

TOMO - I

Autor

RAMON RIVERA LOPEZ

Director

RAFAEL BALTAR TOJO

Dr. Arquitecto

Catedrático de Proyectos Arquitectónicos

INDICE

INTRODUCCION

	Página
La tercera gran revolución científica del siglo XX	1
Sinergética y Arquitectura	2
Traslación – Analogía	3
¿Quién es Hermamm Haken?	4
La pereza unamuniana	5
La documentación	6
Estructuración de la Tesis	7

CAP. I - FILOSOFIA, IDEOLOGIA Y ARQUITECTURA

Filosofía	31
La arquitectura hecha filosofía	31
Los summa y la Arquitectura	32
Humanismo y Arquitectura	38
Ideología	44
Definición	44
El Movimiento Moderno. Un movimiento ideologizado	53
Memorandum	
Filosofía	73
Analogía	80
Reducción	83
Teoría	91

CAP. II - CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

Sistemas	101
Definición de sistemas	102
Clasificación de sistemas	103
Estructura	108
Conducta	108
Historia	109
Jerarquización	109
Retroalimentación (Feedback)	111

	Página
Homeostasis	113
Equilibrio	113
Estabilidad	117
Orden	122
Caos	126
Aleatoriedad	128
Atractores	130
La Teoría General de los Sistemas	139
Consideraciones históricas	139
¿Qué es la Teoría General de los Sistemas?	142
Objetivos de la Teoría General de los Sistemas	143
Tendencias	145
Principios generales	146
Teoría matemática de sistemas	148
Teoría de las Catástrofes	162
Consideraciones históricas	162
Catástrofe	163
¿Qué es la Teoría de las Catástrofes?	164
Estabilidad estructural	165
Lema de descomposición	168
Las siete catástrofes elementales	169
Topología	169
La geometría de las siete catástrofes elementales	169
Aplicaciones	182
Grupos de presión en conflicto : Energía nuclear y Ecología	183
Especulación y calidad urbanística	185
Crítica a la Teoría de las Catástrofes	187
Teoría de las estructuras disipativas	193
Consideraciones históricas	193
La Escuela de Bruselas	196
Las termodinámicas y el determinismo	197
Las tres termodinámicas	198
Procesos reversibles e irreversibles	202
Entropías	202
La neguentropía y la ecuación de Prigogine	204
Teorema de Prigogine de la mínima entropía	213
Principios de la termodinámica	
Postulado de existencia del equilibrio termodinámico	216
Estructuras disipativas	219
Reacciones químicas – El modelo Bruselator	224
Reacción oscilante de Belusov-Zhabotinsky (BZ) – Reloj químico	230

	Página
Bifurcación	233
Orden por fluctuaciones	237
La geometría fractal	245
Las geometrías	245
Fractales	247
Reseña histórica	248
Dimensión fractal	249
Curva de von Koch	253
La esponja de Sierpinsky-Menger	258
Autosemejanza	258
La geometría fractal y los sistemas dinámicos	259
Conjunto de Mandelbrot	260
Fractales : un puente entre la ciencia y el arte	266
Teoría de la Percolación.	268
Definición del término.	268
Objeto de la Teoría de la Percolación	269
Reseña histórica	269
Fenómenos críticos	270
Umbral de percolación.	271
Anchura de la zona crítica	276
Racimo infinito	277
Radio de correlación	278
Leyes de escala	280
Percolación dirigida	281
Dinámica de la percolación. Velocidad de propagación	282
Difusión de rumores. Red de Bethe	283
Coeficiente de reproducción.	290

CAP. III - CIENCIA, TECNOLOGIA Y ARTE

Núcleo disciplinario de la Arquitectura. El <CTA>	292
Ciencia	296
Una guía para el camino	296
Bruma en las definiciones de la Ciencia.	298
Campos de conocimiento.	303
Líneas de investigación	305
Definición bungeriana de ciencia	306
Concepto general de ciencia	310
Semiciencia (o ciencia blanda)	311
Ciclo vital de una ciencia	311

	Página
Seudociencia	313
Lo verdadero y lo falso	313
Falsificación, plagio y honestidad	314
Seudociencia	317
Tecnología	323
Tecnología y cambio social	323
Técnica, tecnología y artificialidad	323
Tecnología	325
Seudotecnología	331
Arte	334
Otra forma de conocimiento.	334
El gusto artístico y la estética	339
Evolución del concepto de arte y artista.	340
El estudio del arte	343
¿Qué función ejerce el arte?.	344
Las polaridades estéticas	344
Clasificaciones de las artes	347
Criterios para definir el arte	350
Arte e ideología	352
Conocimiento artístico.	355
Líneas de investigación	362
El científico y el artista	363
Seudoarte	366
Arquitectura	369
El espacio y tiempo en la arquitectura	369
La luz y la arquitectura	370
La arquitectura : música petrificada	371
Las fronteras de la arquitectura.	386
Seudoarquitectura.	388
Ciencia y Arte : Interinfluencias	391
Armonía	391
Realidad y belleza	392
Los dos polos del conocimiento	394
La belleza de la matemática	394
Potencial matemático	401
Par factorial	407
Recíproco del par factorial	415
El desarrollo de e	417
Polímero matemático. Orden en el caos.	418

CAP. IV - SINERGETICA

	Página
Consideraciones históricas	423
¿Qué es la Sinérgica?	424
La sinérgica : ciencia interdisciplinaria	426
Objetivo de la sinérgica	427
El ejemplo paradigmático de autoorganización : la luz láser	428
Fundamentos	428
Explicación sinérgica	432
Autoorganización del láser	435
Transiciones de fase en el láser	437
El láser, un sistema abierto	437
El láser, puente entre el mundo inorgánico y orgánico	438
Fluctuaciones críticas y ruptura de la simetría	439
Adaptación al medio ambiente	440
Sistema sinérgico	442
Dependencias de su entorno	442
¿Donde se encuentran los sistemas sinérgicos?	442
Autoorganización	445
Organización y autoorganización	446
El modelo matemático de la organización	447
Transición de fase	461
Definición	461
Punto crítico	462
Simetría	465
Ruptura de la simetría	465
Fluctuaciones	465
Ordenador sinérgico	467
Naturaleza del ordenador sinérgico	470
Ciclo vital de un ordenador sinérgico	472
Conjunto de ordenadores sinérgicos	472
Universalidad del ordenador sinérgico	473
Ordenador sinérgico y puntos críticos	475
El principio de dominación	476
El principio de esclavización	480
Relación entre los principios fundamentales de la sinérgica	488
Interacción de los ordenadores sinérgicos	491
Ruptura de la simetría	492
Necesidad y azar	493

CAP. V - LOS COLECTIVOS Y SUS LEYES SINERGETICAS

Los colectivos social humano – Modelo sistémico	502
Sistema social e información	511
Información y conocimiento	514
Ciencias de la Complejidad y Ciencias Sociales	515

	Página
Caos y Ciencias Sociales	517
La evolución de la sociedad	521
Los axiomas evolucionistas	521
Evolución dinámica del sistema social	525
La formación de la opinión pública	532
Introducción	532
Fundamentos	534
El modelo	537
Las ecuaciones del movimiento.	539
La ecuación fundamental para $p(n;t)$	539
Ecuación de Fokker-Planck.	544
Ecuación de Langevin	546
Movimiento de la fluctuación dominante	548
La interpretación sociológica del modelo	549
Tiempo de transición	559
El citation-Index	565
Agua y Arena - Reloj hidráulico	570

AGRADECIMIENTO

El autor de esta Tesis Doctoral agradece al director de la misma, profesor D. Rafael Baltar Tojo, el gran interés y colaboración en el desarrollo del tema.

Ferrol, octubre de 1993

INTRODUCCION

La tercera gran revolución científica del siglo XX

Las revoluciones en la ciencia suelen conmocionar los cimientos de los edificios donde habitan otras formas de conocimiento. La revolución newtoniana trasciende la mecánica y se difunde a través de la filosofía, sociología, etc. Nace el **mecanicismo** como doctrina filosófica. El mundo se toma como modelo de la máquina. Laplace cree que el universo es como un reloj, donde es posible determinarlo todo : conociendo la situación de todos los átomos del universo, sería posible determinar con exactitud matemática su pasado y predecir su futuro. Es decir, las leyes de la naturaleza, además de universales eran deterministas. Mecanicismo es determinismo.

Un terremoto –la Teoría Cuántica– con un alto grado de sismicidad, tambalea los cimientos de las leyes deterministas de la naturaleza. Otro terremoto –Las Ciencias de la Complejidad–, más fuerte que el anterior, desmorona el edificio determinista de la naturaleza. Como diría uno de los creadores de este "cataclismo", Ilya Prigogine, el indeterminismo es la norma de la naturaleza, y el

determinismo es la excepción. Este científico, en contraposición a Einstein, dice que "Dios juega a los dados".

Las Ciencias de la Complejidad, cuyo nacimiento se sitúa hacia 1970, constituyen la tercera gran revolución científica del siglo XX. La primera es la Teoría de la Relatividad, y la segunda la Teoría Cuántica.

Sinergética y Arquitectura

Nuestro contacto con las Ciencias de la Complejidad vino a través de la lectura del libro **Secreto de los éxitos de la Naturaleza**, cuyo autor es el físico-matemático alemán Hermann Haken. Libro editado por Argos-Vergara en noviembre de 1984, y que Salvat Editores introduce en 1986 en la colección de cien volúmenes "Biblioteca científica Salvat", con el título **Fórmulas de éxito en la Naturaleza**. Su lectura nos resultó fascinante. Como libro de divulgación científica, Hermann Haken cumple bien su cometido, siendo claro, ameno y profundo.

En la edición de Argos-Vergara figuraba un subtítulo : **Sinergética : la doctrina de la acción de conjunto**, que excitó nuestra curiosidad. La terminología utilizada por Haken : cambio, transición de fase, lucha competitiva, orden viejo, orden nuevo, desorden, caos, ... nos parecía el eco de otro lenguaje utilizado por los críticos de la arquitectura actual, como, por citar algunos, Leonardo Benévolo, Kenneth Frampton y sobre todo, el combativo Charles Jencks, impulsor del término **posmoderno** en arquitectura, que difunde a través de su libro **El lenguaje de la Arquitectura Posmoderna**, cuya primera edición inglesa es de 1977 y la española de 1980. Jencks nos habla de la muerte de la arquitectura moderna, del espacio y principios del Movimiento Posmoderno, de "época de transición" y de múltiples tendencias y estilos. Destaca la "guerra de los estilos",

las "campañas cuasi militares" de los contendientes : "Los adelantos en un frente se equilibran con las retiradas en otro, y en general prevalece la confusión".

Tanto combate y tanto conflicto los describe también Haken en las fases de transición de los sistemas dinámicos, donde los ordenadores sinérgicos compiten entre sí para imponerse y "esclavizar al sistema", en aras de un nuevo orden.

Ante esta similitud de conductas, nos formulamos la siguiente pregunta : ¿Podría la Sinérgica –rama de las Ciencias de la Complejidad– aclarar la confusión reinante en el complejo sistema arquitectural –arquitectura y urbanismo–?. Tomando las cosas de un modo superficial, a primera vista parece más lógico utilizar las ciencias que tratan la complejidad para analizar sistemas de esta categoría. En principio, debieran estar más próximas a la realidad que aquéllas que utilizan como soporte el mecanicismo, es decir, el determinismo o un racionalismo estrecho.

Traslación. Analogía

Pero, ¿y el peligro de las traslaciones?. ¿No resulta temerario pasar de una rama de la física –Sinérgica– a una disciplina tan compleja como es la arquitectura, engarzada al sistema socio-cultural?.

Si bien las traslaciones –las analogías– poseen un valor heurístico que, cuando se realizan con honestidad intelectual, potencian normalmente el progreso de la actividad receptora, es conveniente, no obstante, tomar precauciones. La duda formulada en la pregunta anterior la disipa Hermann Haken : "Del mismo modo que en determinada ciencia puede formarse un nuevo paradigma en base al cual, unos procesos que antes parecían de diferente naturaleza pueden reconocerse como algo unitario, la sinérgica permite representar desde un punto de vista

unitario fenómenos radicalmente diversos, que pertenecen a disciplinas completamente distintas. Cuando introduje este nuevo campo me pareció una empresa arriesgada, en la que uno podía perder su reputación científica. En aquel momento, la afirmación de la existencia de normas generales como las que se exponen en este libro parecía una tesis temeraria. Pero pronto se vio que había llegado su momento, y la idea de la sinérgica se ha impuesto ampliamente en la actualidad. La sinérgica misma se ha convertido así en un ejemplo típico de la creación de una ciencia nueva".

Reflexionando sobre estos temas, nos pareció que la sinérgica podría aclarar cuestiones de la conducta del sistema arquitectural. La sinérgica es una ciencia seria, y su creador, Hermann Haken, también, como lo avala el siguiente mini-curriculum facilitado por su editor español :

¿Quién es Hermann Haken?

Nace en Leipzig el año 1927. Se doctoró en matemáticas (1951), en la Universidad de Erlangen (antigua República Federal de Alemania). Profesor de física teórica en la Universidad de Stuttgart desde 1960. Fue profesor y científico invitado en el Reino Unido, Francia, Japón, Estados Unidos y en la ex Unión Soviética.

Áreas principales de su actividad : física de los sólidos y óptica cuántica, así como sinérgica, iniciada por él. Es uno de los padres de la teoría del láser, y su monografía **Laser Theory** es considerada una obra modelo.

Otras obras : **Quantenfeldtheorie** des Festkörper (Teoría de los campos cuánticos), traducida al inglés, japonés y ruso; **Synergetics, an introduction**, traducida al ruso, japonés, alemán, húngaro, italiano y chino; y otras obras más sobre cuestiones importantes de la física.

Hermann Haken tiene en su haber los siguientes galardones : Premio Max Born 1976 y medalla del "British Institute on Physic" y de la Sociedad Física Alemana, por sus trabajos fundamentales sobre la física de los cuerpos sólidos y la teoría del láser. En 1981, se le concede la medalla "Albert A. Michelson" del Instituto Franklin, Philadelphia, EE.UU, por sus estudios precursores de la sinérgica.

A este currículum, que abarca hasta el año 1984, se añade el de **doctor honoris causa**, concedido el 13 de octubre de 1987 en Madrid, por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED).

La pereza unamuniana

Los españoles no entendemos cómo una obra del relieve de **Synergetics, an introduction**, traducida a lenguas importantes, no lo ha sido al español. ¿Es el "que inventen ellos" unamuniano?. Sea como fuere, la sinérgica es la gran desconocida para el público español, incluido el universitario, salvo las honrosas excepciones de las facultades de Física.

Por más averiguaciones que hemos hecho para documentarnos sobre la sinérgica en el ámbito español, la respuesta era siempre la misma : "sólo se ha publicado un libro : **Fórmulas o Secreto de los éxitos de la Naturaleza**.

¿Tendría razón nuestro premio Nobel, Severo Ochoa, cuando en unas declaraciones efectuadas en mayo de 1988, afirmaba: "España está mal, muy atrasada tecnológicamente y científicamente. Aquí nunca hubo, ni hay, ambiente científico, quizá debido al espíritu religioso de los españoles"?.

La documentación

La información para el desarrollo de este trabajo, que se mueve en el campo de la teoría, tendría que proceder, principalmente, de la bibliografía.

La primera pregunta que nos hicimos fue la siguiente : ¿Existe alguna publicación que relacione la sinérgica con la arquitectura o el urbanismo?. Consultados los Servicios de Teledocumentación de la Universidad de Santiago de Compostela, después de un barrido a través de los bancos de datos mundiales, los resultados fueron negativos.

En fin, tendríamos que **partir de cero**. Este hecho tiene sus ventajas y sus inconvenientes. Entre las primeras está ese "goce estético" que defienden, y con razón, los científicos, cuando fantaseando, imaginando y ensayando las hipótesis, encuentran una nueva coherencia que antes nadie había descrito. Existe en ese punto un acto de creación similar al del artista. Este acto nada tiene que ver con el egocentrismo, sino con esa dimensión espiritual que destaca León Tolstoi : "No hay verdadero placer si no es el de crear. Crear lápices, zapatos, pan, niños, es decir, hombres, lo que sea. Fuera del crear, no hay verdadero placer, ningún otro placer que no vaya unido al temor, a la pasión, al remordimiento o a la vergüenza". Entre los inconvenientes de partir de cero, está la ardua labor de la lucha con la coherencia, lecturas, reflexiones, notas y más notas, ensayos de líneas de investigación, rectificaciones –ensayo y error popperiano–, etc.

Después de una serie de peripecias que sería largo y ocioso mencionar aquí, logramos, a través de una librería alemana asentada en Madrid, realizar unos pedidos a la Springer-Verlag Berlín, sobre publicaciones de la colección "Springer Series in Synergetics" dirigida por Hermann Haken. Dominan las publicaciones sobre física, química, biología, medicina, economía, ecología, sociología, informática, ... En la actualidad, el número de volúmenes publicados

podrían ser más de cincuenta. Nosotros pedimos los siguientes :

- 1.- **Synergetics, an introduction**, by H. Haken.
- 3.- **Synergetics, Far from Equilibrium**, by A. Pacault and C. Vidal.
- 6.- **Dinamics of Synergetic Systems**, by H. Haken.
- 11.- **Chaos and Order in Nature**, by H. Haken.
- 14.- **Concepts and Models of a Quantitative Sociology. The Dynamics of Interacting Populations**, by Weidlich and G. Haag.
- 20.- **Advance Synergetics**, by H. Haken.
- 26.- **Self - Organization and Management of Social Systems**, by H. Vlrish, G.J.B. Probst.

Esta bibliografía especializada tenía para nosotros un gran interés, sobre todo para conocer los fundamentos de la sinérgica y sus aplicaciones.

La otra documentación relacionada con nuestro trabajo abarca amplios temas, pero afortunadamente España cuenta en la actualidad con buenas editoriales, donde se publican interesantes libros sobre : filosofía, política, ciencia, arte, arquitectura, urbanismo, etc.

Estructuración de la Tesis

Umberto Eco clasifica las tesis doctorales en dos tipos : tesis de compilación y tesis de investigación. La presente corresponde a este segundo tipo, desarrollán-

dose en el marco de la teoría, según la acepción que la ciencia concede a este término. Es decir, en el campo del conocimiento surge un nuevo paradigma, la sinérgica. Para Haken, esta ciencia supone una nueva cosmovisión. Ver las cosas desde la perspectiva sinérgica equivale a comprender la acción de conjunto de un sistema, así como las leyes generales que gobiernan determinadas estructuras, sean éstas físicas, químicas, biológicas, sociales o culturales : "La tarea de la sinérgica es descubrir las normas en que se basa la autoorganización de sistemas en los más diversos campos científicos", dice Haken, quien añade : "En la sinérgica no solemos estudiar las diversas reglas elementales, sino las leyes generales que rigen la formación de las estructuras".

La creación del orden a partir del caos tiene lugar a través de un proceso de **autoorganización**, y en esta autoorganización intervienen dos principios fundamentales de la sinérgica : el de dominación y el de esclavización. En el primero, son unos "ordenadores" –uno o varios– que nacen de la acción de conjunto de las partes individuales, y actúan como "una mano invisible" que organiza a esas partes, que constituyen el "sistema esclavizado". Ordenador y "sistema esclavizado" son las dos caras de una misma moneda. No existe el uno sin el otro.

Hemos creído conveniente, para mantener el hilo conductor a lo largo de este trabajo, distribuir los temas insertos en los distintos capítulos de modo que el aspecto secuencial de la línea epistemológica se engarce a la sinérgica e interseque en el campo del conocimiento arquitectónico. Por ello, la estructuración de esta tesis se articula en los siguientes capítulos :

- Capítulo I.– Filosofía, Ideología y Arquitectura.
- " II.– Ciencias de la Complejidad.
- " III.– Ciencia, Técnica y Arte.

- " IV.- Sinérgica.
- " V.- Los colectivos y sus leyes sinérgicas.
- " VI.- Análisis sinérgico de la Arquitectura.
- " VII.- Análisis sinérgico del Urbanismo.
- " VIII.- Análisis sinérgico de la situación actual de la Arquitectura.
- " IX.- Conclusiones.

El título **INTRODUCCION AL ANALISIS SINERGETICO DE LA ARQUITECTURA Y EL URBANISMO**, se justifica por dos razones : la primera, es que la sinérgica está todavía en sus comienzos en relación con las ciencias sociales. La segunda es que el tema que hemos abordado es de tal envergadura, que para profundizar en él se necesita un equipo interdisciplinario.

A continuación, se resumen las ideas que pretendemos desarrollar en cada capítulo.

Capítulo I .- Filosofía, Ideología y Arquitectura

Jesús Mosterín, en su **Historia de la Filosofía**, cree que la filosofía no empezó de golpe con Tales de Mileto, como materia independiente de la religión, ciencia y otros saberes de la cultura. Para Mosterín, la historia de la filosofía extiende sus raíces hasta el **pensamiento arcaico** de la Mesopotamia, India, China y finalmente, Grecia.

Se dice que los griegos "inventaron" el pensamiento hace unos 2500 años. Se entiende que lo sistematizaron, dedujeron sus leyes y observaron que a través de él se puede indagar en los misterios de la naturaleza. Esta cuestión trascendental, supone un salto de gigante en la evolución del espíritu humano.

La filosofía presocrática unificaba en sí todos los conocimientos: ciencia,

arte... Luego, a lo largo del tiempo, los distintos conocimientos se irían especializando, desgajándose de su tronco común, la filosofía. De todos modos, la filosofía parece estar presente en todo. El hombre es un animal que filosofa, según algunos autores.

Las influencias, directas o indirectas, de la filosofía en la arquitectura es manifiesta, como lo es también la ideología –hija directa de la filosofía–.

Filosofía e ideología se difunden hacia la arquitectura, normalmente a través de la Crítica y las publicaciones especializadas. No es raro encontrar alguna publicación donde el marco conceptual se muestra exagerado o confuso. Por ello, y al final de este capítulo, se insertan, a modo de **memorandum**, algunos conceptos que creemos útiles sobre filosofía, analogía, reducción y teoría. Destacamos algunos aspectos de la filosofía científica, y en especial la exacta, donde Mario Bunge, su impulsor, pretende un rigor epistemológico.

El problema de fronteras –distinción entre disciplina y seudodisciplina– es fundamental para filósofos científicos como Karl Popper o Mario Bunge. De esta cuestión tomamos buena nota, por el interés que indudablemente tiene para la arquitectura. Las pseudoarquitecturas axfisian nuestras ciudades.

Las definiciones bungerianas de ciencia, ideología, etc., a través de sus n-tuplas, –componentes de un conjunto– conllevan un entramado que amojona los lindes fronterizos a los que nos hemos referido antes.

Una de las incidencias más directas de la filosofía en la arquitectura la encontramos, según Erwin Panofsky, en las homologías, que él señala, entre las catedrales góticas y la filosofía medieval –la escolástica–. Este autor habla del **principio regulador; la "manifestatio"**. Aquí estamos viendo, en el complejo sistema arquitectural, la acción de un ordenador sinérgico, la **"manifestatio"**,

que "esclaviza" el modo de hacer de los arquitectos. Según Panofsky, "un hombre impregnado de escolástica no podía adoptar más que un punto de vista, el de la **manifestatio** : y ésto es así tanto si se trata del modo de presentación literaria como del modo de presentación arquitectónica".

Si en la arquitectura aparecen influencias de ciertas filosofías, con las ideologías la influencia es más intensa, y tanto es así que, en ocasiones, uno se siente tentado a decir que ciertas arquitecturas son puro signo ideológico.

El Movimiento Moderno nace como expresión de las reivindicaciones sociales progresistas que, en aquel entonces, se canalizaban a través de un socialismo humanitario o de las doctrinas marxistas. Este componente ideológico estructurador representa el ordenador sinérgico que gobierna el sistema arquitectural.

Las ideas, sean filosóficas, científicas, políticas, etc., cuando se han nucleado y difundido actúan sobre el sistema como ordenadores sinérgicos que "esclavizan" la conducta de los componentes. De ahí su tratamiento, en el capítulo I, como ejemplos obvios e ilustrativos de la sinérgica.

Capítulo II.- Las Ciencias de la Complejidad

Así como la Teoría de la Relatividad de Einstein trascendió el campo de la física, con las Ciencias de la Complejidad está ocurriendo algo similar.

Filósofos, escritores, historiadores, antropólogos, etc., muestran un interés creciente por las novedades de la física : el estudio de la complejidad. Los propios físicos arguyen que estos nuevos conocimientos permiten abordar el campo de las ciencias blandas, sociales o humanas, con criterios creativos.

Para algunos estudiosos, las Ciencias de la Complejidad constituyen la tercera gran revolución científica de este siglo. Para otros, es la tercera gran revolución de la Ciencia, siendo la primera la de Galileo y Newton, y la segunda la de la relatividad einsteniana y la mecánica cuántica.

Este capítulo se inicia con unas nociones sobre sistemas : definición, clasificación y propiedades más relevantes. El universo forma un solo sistema que se subdivide en infinitud de subsistemas que pueden ser, a su vez, tratados como sistemas, siempre y cuando su aislamiento conserve las ligaduras con su entorno.

En la clasificación de los sistemas se hallan los dinámicos, y dentro de éstos los sinérgicos.

Los sistemas dinámicos tienen gran interés, tanto en el sentido práctico como teórico. Son los más abundantes en el universo, y en especial, en una singularidad de éstos –la vida–.

El estudio de los sistemas dinámicos, de los que derivan las Ciencias de la Complejidad, ha preocupado a grandes científicos, como el francés Poincaré y el ruso Lyapunov. El problema capital de un problema dinámico es el estudio de su estabilidad. Conocer, de un modo matemático, cuándo el sistema será estable o inestable conlleva el planteamiento de unas ecuaciones diferenciales que, en la mayoría de los casos, no son clasificables o pertenecen al tipo de las **no lineales**, cuya resolución resulta o muy difícil o imposible. De ahí ha surgido la denominada **dinámica no lineal**, que es básica en las diversas ramas de las Ciencias de la Complejidad.

El concepto de atractor y caos surge como consecuencia de los estudios de la estabilidad de los sistemas dinámicos.

Se considera a Henri Poincaré como el precursor de los estudios sobre el caos. Intentando resolver el "problema de los tres cuerpos", encontró que las ecuaciones de Newton se vuelven insolubles. Sus cálculos demostraban que una mínima perturbación en alguna de las órbitas del sistema solar podría ocasionar una verdadera catástrofe en el equilibrio del sistema.

El capítulo II aborda aspectos fundamentales de las ramas más destacadas de las Ciencias de la Complejidad, como la Teoría General de Sistemas; Teoría de las Catástrofes; Teoría de las Estructuras Disipativas; la Geometría Fractal y la Teoría de la Percolación. A la Sinérgica le dedicamos un capítulo aparte.

La Teoría General de Sistemas, cuyo creador es el biólogo vienés Ludwig von Bertalanffy, ejerció una fuerte influencia en el estudio de los sistemas de cualquier naturaleza que, según Bertalanffy, muestran conductas similares y a los que son aplicables leyes de carácter universal.

La Teoría de las Catástrofes, creada por el matemático francés René Thom. Esta rama de las matemáticas pretende resolver los difíciles problemas que plantea el estudio de la estabilidad de los sistemas dinámicos, a través de métodos topológicos. Según Thom, se pueden obtener predicciones sobre el comportamiento colectivo de un sistema sin necesidad de formular, siquiera, las ecuaciones diferenciales. Para ello utiliza las denominadas siete catástrofes elementales.

La Teoría de las Estructuras Disipativas ha sido formulada por el físico-químico Ilya Prigogine, ruso y asentado en Bruselas desde niño. Por sus estudios de la termodinámica de los procesos irreversibles, termodinámica fuera del equilibrio y esta teoría, le conceden el premio Nobel en 1977. Su descubrimiento trascendental es la **autoorganización espontánea**, que tiene lugar en ciertos sistemas al ser alejados suficientemente del equilibrio.

Prigogine es una de las figuras de más relieve en las Ciencias de la Complejidad. La autoorganización espontánea es uno de los principios más fecundos de la ciencia. Despeja muchas incógnitas en la física, química, biología, sociología, etc. Las fluctuaciones aleatorias que se producen al alejarse del equilibrio, consumen energía y la disipan, creando una estructura ordenada. Es el orden por fluctuaciones.

La sinérgica sistematiza la fenomenología de esos estados del sistema. Haken, partiendo de los descubrimientos de Prigogine, en especial de la autoorganización, explica ésta en base a conceptos que, según Haken, se ajustan más a la realidad.

La Geometría Fractal es una creación del matemático polaco Benoît Mandelbrot, que de niño se traslada con su familia a París, donde estudia matemáticas. Empleado en la IBM (USA), y familiarizado con esas "cosas monstruosas" de la matemática, como el polvo de Cantor, la curva de van Koch, etc., relaciona unas secuencias de ruidos en las transmisiones de las líneas telefónicas con el conjunto de Cantor. Este hecho, y otros relacionados con la medida de figuras muy irregulares y fragmentadas, le lleva a establecer los conjuntos fractales.

Acuña el término **dimensión fractal**, como una dimensión fraccionaria. La geometría fractal es la geometría de la naturaleza. La autosemejanza está presente en la generación de figuras fractales. Una simple ecuación de números complejos aplicada recursivamente genera figuras de una belleza increíble. El conjunto de Mandelbrot es un buen ejemplo. Algunos autores han afirmado –entre ellos el propio Mandelbrot– que la geometría fractal tiende un puente entre la ciencia y el arte.

Creemos que en la arquitectura está presente también la geometría fractal. La arquitectura islámica, el gótico, el barroco, ... la arquitectura deconstructivista actual, muestran tratamientos muy similares a ciertas figuras de

la geometría fractal. Un campo digno de investigarse. En el capítulo III, comparando superficialmente música y arquitectura, nos surgió la idea de la fractalidad en ciertas composiciones de ésta.

La Teoría de la Percolación, propuesta por los científicos ingleses Hammersley y Broadbent, es una rama de la física que centra sus estudios en los fenómenos críticos que tienen lugar en estadios de la evolución de los sistemas, en que éstos cambian bruscamente sus propiedades (como puede ser una transición de fase).

Al fenómeno de la percolación (infiltración) se le denomina también de la **geometría del contagio**. Cuando el sistema es invadido por un agente, y éste alcanza un cierto umbral, –umbral de percolación– entonces el agente percola al sistema.

Para sistemas de distinta naturaleza se encontraron similitudes de comportamiento. Son las leyes de escala, que permiten predicciones en las proximidades del umbral de percolación.

En sociología, urbanismo y otras ciencias, se podrían hallar aplicaciones interesantes.

Capítulo III.- Ciencia, Tecnología y Arte

Nos interesa destacar aquí los conceptos modernos de estos tres campos del saber y hacer humano, y su imbricación con la arquitectura y el urbanismo.

Belleza de la ciencia y científicidad del Arte. No es sólo la ciencia quien nos adentra en los secretos de la naturaleza, el arte cumple un cometido no menos importante en ese conocimiento. La una parece, en principio, fría, racional. El otro, irracional, emocional.

Algunos científicos tienen la convicción de que en la ciencia juegan un papel importante las consideraciones estéticas. De todos es bien conocido que cuando Albert Einstein realizaba sus investigaciones de física teórica y surgían fórmulas matemáticas embrolladas, "feas", comenzaba de nuevo sus planteamientos hasta que las ecuaciones eran "bellas".

También existen artistas que se plantean científicamente sus obras, o creen ver en la obra terminada estructuras científicas.

La arquitectura y el urbanismo absorben sus contenidos del arte y de la ciencia, que materializan a través de la tecnología. Es decir, arquitectura y urbanismo interiorizan un núcleo disciplinario, el triplete <CTA> (ciencia, tecnología, arte), en que los tres componentes tienen un peso específico similar, a diferencia de lo que ocurre en otras actividades del quehacer humano. El <CTA> es una especie de DNA identificativo de la diversidad arquitectónica encuadrada en coordenadas geotemporales. Puede, y de hecho ocurre, que unas épocas acentúen más uno o dos de los componentes del <CTA>. Cuestión ésta que no ha sido investigada de un modo sistemático.

Es importante, en todo el campo del conocimiento, conocer aquella línea donde la impostura pretende enmascararse con la autenticidad. Los modelos del filósofo científico Mario Bunge amplían el espectro del par definiendum/definiens, facilitando con ello despejar, un poco más, la bruma situada en la frontera. Siguiendo estos modelos, definimos el arte, la arquitectura y los correspondientes seudos.

La frase de Goethe: "La arquitectura es música petrificada", nos llevó a buscar las "notas arquitectónicas", que debidamente pulsadas nos deleitan los ojos del espíritu, y por qué no, los del cuerpo también. En este juego de similitudes entran en escena los semitonos que, si en música no tienen problema alguno, en

arquitectura a nadie se le hubiera ocurrido, hace unos veinte años, intercalar una dimensión fraccionaria. Hoy, con la asombrosa belleza de la geometría fractal del matemático Mandelbrot, el problema queda resuelto. La escala de las siete notas arquitectónicas que hemos propuesto presentaba tres "vacíos" entre las dimensiones 0-1, 1-2, 2-3. ¡Eureka!, las dimensiones fractales corresponden a los semitonos arquitectónicos. ¿Tendrá esto correspondencia real?. ¡Increíble!. La humanidad estuvo aplicando la geometría fractal, **sin saberlo**, desde tiempo inmemorial. La arquitectura islámica utiliza profusamente semitonos fractales. En términos musicales, se diría que la escala cromática satura esta arquitectura. Este proceso del llenado de los "vacíos" nos recordó esos otros "vacíos" de la tabla periódica de los elementos químicos de Mendeleiev.

Capítulo IV - Sinérgica

Esta ciencia constituye el *leit motiv* de esta tesis.

La Sinérgica corresponde a una de las ramas más importantes de las Ciencias de la Complejidad.

Ciencia de la acción de conjunto, de la autoorganización, de la acción colectiva, de la transición de fase, etc., son nombres definidores que sitúan su campo de acción.

En un curso de la Universidad de Stuttgart celebrado en 1969, Hermann Haken instituye la sinérgica como disciplina científica.

La sinérgica, como ciencia que investiga los sistemas dinámicos abiertos, en palabras de su autor, supera a las teorías rivales al permitir la sistematización matemática que la sitúa en posiciones de predecir qué tipo de estructura se puede

formar, mientras que las otras teorías sólo explican el porqué de su formación.

Cuando a los sistemas dinámicos abiertos se les suministra energía o información –considerada ésta como otra modalidad de energía– evolucionan siguiendo estados secuenciales de orden/desorden. Conocer cómo se originan estos estados es de capital importancia, sobre todo si de ese conocimiento se derivan leyes de carácter universal. Huelga decir que el conocimiento constituye un potencial de riqueza.

La sociedad es un sistema dinámico abierto de un alto grado de complejidad, que a su vez está compuesto de muchos subsistemas –que son sistemas– también muy complejos, y que atraviesan fases alternativas de orden/desorden. Es decir, de una fase crítica evolucionan a otra más organizada. Se autoorganizan. Son, por tanto, sistemas sinérgicos y como a tales, se les pueden aplicar las leyes generales de la sinérgica.

El sistema arquitectural (arquitectura y/o urbanismo), es un subsistema del sistema social. Al aislarlo para su estudio, no se deben olvidar las ligaduras al general, es decir, la acción que la sociedad, con toda su cultura en sentido lato, ejerce sobre la arquitectura y el urbanismo.

Postulan los científicos que una de las misiones de la ciencia es la búsqueda del orden que subyace en el caos aparente. La sinérgica escudriña en ese aparente desorden que reina en ciertas fases de los sistemas dinámicos, y en el porqué de las fases de orden.

Haken distingue entre organización y autoorganización, asociándoles un modelo matemático que luego es sometido a discusión. Surge así la idea del parámetro de orden, ordenador, o sistema dominante y sistema esclavizado. Se aclara que la palabra esclavizado nada tiene que ver con una valoración ética. Es

puramente instrumental.

Este capítulo recoge ejemplos clásicos de autoorganización, como la luz láser, la inestabilidad de Bénard o la ameba **Dyctyostelium discoideum**, en los que se puede visualizar los procesos de transición de fase, puntos críticos, rupturas de simetría, fluctuaciones, etc.

Si bien la sinérgica, ciencia muy joven, tiene ya un desarrollo importante en física, química o biología, en las ciencias sociales todavía está en sus comienzos y falta mucho por hacer, como el mismo Haken reconoce.

Capítulo V - Los colectivos y sus leyes sinérgicas

El colectivo social humano, con su cultura entendida en su sentido lato (el mundo III popperiano), constituye un sistema dinámico abierto que se autoorganiza, siendo por tanto un sistema sinérgico.

El sistema social global se subdivide, para su estudio, en subsistemas : economía, política, educación, religión, ciencia, arte, etc.

La sinérgica, como nuevo paradigma, permite indagar con una nueva cosmovisión, aspectos importantes de toda esa actividad de los sistemas interrelacionados que componen la sociedad.

En este capítulo se muestran aspectos fundamentales condensados de los mecanismos estructuradores del colectivo social en que el motor de la historia según Marx, es analizado por Bunge, poniendo éste de manifiesto la contradicción de tal motor, ya que unas veces figura como la economía y otras como la lucha de clases. Para Bunge no hay un primer motor o determinante absoluto. Según las

circunstancias, unas veces será el factor económico, otras el cultural, político, una innovación tecnológica, etc.

Los teóricos de las ciencias humanas y sociales hablan del retorno de la Gran Teoría como fundamentadora de las bases científicas para un progreso de estas ciencias, bajo el prisma de la sistematización. Para los filósofos de la ciencia existen aspectos ideológicos en teorías sociales que pretenden pasar por "científicas". En opinión de Karl Popper, expuesta en su libro **La sociedad abierta y sus enemigos**, es necesario arrojar al "cubo de la basura de la historia" a todo ese grupo de "ciencias" que descansan en una filosofía social utópica.

Para Erwin Laszlo, la sociedad es un sistema del tercer estado, por tanto para el estudio de su evolución nada mejor que las Ciencias de la Complejidad. Para estudiar la sociedad, Laszlo propone los seis axiomas evolucionistas. Según esto, los órdenes sociales evolucionan a lo largo de la historia por la acción y la interacción individual. Las modificaciones que se han producido en dichos órdenes sociales tienen su causa en los cambios que se originan en la cultura y en la política.

El colectivo humano se mueve por ideas, sentimientos y emociones. La psicología y la sociología conocen las pautas del comportamiento de los individuos cuando actúan en masa. De ahí el interés de los grupos dominantes en difundir las ideas que mentalizan al colectivo, en el sentido de crear conductores favorables a determinados intereses.

Por todo ello es de sumo interés el estudio de la estructura de la **opinión pública dominante**. La ciencia sinérgica está en condiciones de aproximarse a ese estudio. Haken relaciona los cinco puntos que interrelacionan la psicología individual y los medios de comunicación. Weidlich y Haag llevan a cabo el estudio sinérgico, con formulación matemática, del funcionamiento de la opinión

pública dominante. Como sistema sinérgico, la opinión dominante actúa como ordenador que esclaviza las opiniones individuales. En este sistema dinámico se puede ver, su evolución, estados críticos, transiciones de fase, estados estacionarios, etc.

El estudio de la opinión pública dominante es importante porque la sociedad, y en cualquier subsistema de ésta, la prevalencia de un estado de opinión arrastra con frecuencia de modo inconsciente, como demuestra la sinérgica, a seguir los dictados de esa opinión dominante, bien sea política, filosófica, científica, artística, ... o arquitectónica y urbanística. Una tendencia arquitectónica, una vez que se ha impuesto, ejerce las funciones, dentro de su ámbito, de la opinión dominante.

Como uno de los factores que colabora en la formación de la opinión dominante está el **citation-index**. Es el efecto San Mateo. Cuando un autor destaca, otros autores lo van citando, por lo cual se produce un efecto multiplicador.

Terminamos este capítulo con un bello ejemplo sobre sinérgica, observado por nosotros en las corrientes de agua sobre la arena. Lo hemos denominado "reloj hidráulico" –un reloj de arena pasado por agua– por la semejanza, en cierto sentido, con el "reloj químico", como suele designarse a la reacción química oscilante de Belusov–Zhabotinsky.

Capítulo VI - Análisis sinérgico de la arquitectura

Con este capítulo entramos ya, de lleno, en el tema de nuestra tesis.

La sinérgica se aplica a sistemas dinámicos abiertos en los que tiene lugar un proceso de autoorganización.

La arquitectura, considerada en su conjunto, no sólo es una disciplina específica, sino también un sistema cultural engarzado al sistema global que compone la sociedad.

El sistema arquitectural (arquitectura y/o urbanismo) es un sistema dinámico –evoluciona en el tiempo–, y abierto –intercambia información, energía y materia con su medio–. No sólo las fuerzas exógenas al sistema arquitectural impulsan su evolución, sino que también las endógenas participan en su configuración. La arquitectura construída y el conocimiento arquitectónico influyen sobre la arquitectura que se proyecta. Es decir, el sistema arquitectural posee retroalimentación.

La evolución histórica de la arquitectura muestra aspectos cambiantes de ésta, como estados ordenados, transiciones de fase, situaciones desordenadas, ... y autoorganización. Por tanto, **el sistema arquitectural es un sistema sinérgico**, y en consecuencia, le son aplicables las leyes generales de la sinérgica, como **los principios de dominación y del sistema esclavizado**, amén de otras leyes, como los automatismos sinérgicos, estados fluctuacionales, transiciones de fase, rupturas de simetría, bifurcaciones, autoorganizaciones, etc.

Un sistema social o cultural tienen un grado de complejidad mucho más elevado que otro del mundo físico o biológico. La sinérgica social está todavía en fase de desarrollo.

Siguiendo las pautas de la sinérgica social y la del mundo natural que Hermann Haken y otros seguidores de esta ciencia aplican en sus estudios, nos aventuramos por el complejo mundo de la arquitectura y el urbanismo. El camino no está abierto. Pero, como decía el poeta Machado, se hace camino al andar. Para tal andadura tendremos que otear el terreno, analizar todos los accidentes "geográficos", vericuetos, arboleda, ... El bosque está demasiado enmarañado.

Necesitamos la **visión de conjunto** para proyectar el trazado adecuado. No hay que olvidar los accidentes locales, las interrelaciones de las partes entre sí y en el efecto del conjunto. Las influencias, tanto externas como internas, son múltiples y complejas. A pesar de todo ello, de esos aspectos caóticos y turbulentos, en el sistema arquitectural emergen estados ordenados, llámense estilos, movimientos, escuelas, tendencias, etc. En ciertos estadios de la evolución, próximos a la estabilidad, parece reducirse el número de tendencias fundamentales, dándose una coexistencia y/o cooperación entre ellas. En otros estadios, los de inestabilidad del sistema, las tendencias se muestran muy interactivas, multiplicándose cuando se dirigen hacia la cúspide de la transición de fase, y reduciéndose una vez superado ese punto crítico. En tal estadio, competitividad, cooperación y coexistencia son más intensas que en otras fases del sistema. De esa lucha de tendencias, unas quedan reforzadas y otras debilitadas. Las primeras cumplirán su objetivo de organizar y estabilizar el sistema. Es el proceso de la **autoorganización espontánea**. Pero el equilibrio logrado no es eterno. En el fondo, siempre queda un poso de inestabilidad, propiedad universal de todo sistema vivo. Como afirman las Ciencias de la Complejidad : el orden lleva en su seno la semilla del caos, y éste la semilla del orden.

Analizar el campo de las tendencias supone situarse a dos niveles : el **micronivel**, en el que se percibe la formación de las fluctuaciones. La vida profesional del arquitecto y su interacción con el mundo que le rodea, físico y cultural en sentido amplio, son parámetros importantes en la conformación de las fluctuaciones. Y el **macronivel**, que proporciona la acción conjunta de las tendencias. En este nivel, éstas ya muestran consistencia –nucleación, u ordenador sinérgico–. Ambos niveles están íntimamente interrelacionados.

Los análisis macro–micro y micro–macro nos llevan al conocimiento de la conducta del sistema. En este proceso, es como si la sinérgica emitiera unos rayos visualizadores de las entrañas del sistema. Por eso lo hemos denominado

sinergetigrafía. Analizar sinérgicamente la arquitectura o el urbanismo de un área determinada –ciudad, municipio, provincia, región, nación, etc.– equivale, en primer lugar, a situar el campo de tendencias –sinergetigrafía– a nivel global y local. En segundo lugar, estudiar la acción de conjunto de esas tendencias inmersas en la realidad de su medio ambiente con todas las fuerzas exógenas y endógenas.

Capítulo VII - Análisis sinérgico del urbanismo

El urbanismo es otra disciplina donde las ciencias de la complejidad disponen de un extraordinario campo de investigación.

Destacamos algunas peculiaridades de la ciencia urbana, pues, como venimos diciendo el sistema arquitectural, es la arquitectura singularizada como disciplina, pero también incluye a la macroarquitectura configuradora de los espacios urbanos. Si, como es sabido, en la arquitectura influyen las fuerzas del entorno, en el urbanismo, algunas de ellas –las de carácter público– le afectan con mayor intensidad.

La ciencia urbana es la ciencia de la interdisciplinaridad por excelencia : sociología, psicología, derecho, historia, economía, política, arquitectura, ecología, etc., se dan la mano en un estudio urbanístico que se precie de tal.

La metodología sinérgica aplicada al urbanismo es similar a la utilizada en arquitectura, por tanto en este capítulo no necesitamos hacer una amplia exposición del análisis sinérgico, máxime en el nivel introductorio que trata esta tesis que, como podemos observar, se centra más en la arquitectura.

El análisis sinérgico del urbanismo, incluso a nivel de una introducción,

merecería un amplio trabajo que no podemos dedicarle aquí, por razones obvias de espacio, tiempo y equipo interdisciplinario. No obstante, creemos que las ideas esbozadas en este capítulo son fundamentales para posteriores trabajos en este campo.

La **autoorganización** que descubren las Ciencias de la Complejidad, –por poner un ejemplo– demuestra que el intervencionismo jerarquizado llevado a extremos de rigidez como, con frecuencia, sucede en el ámbito de la administración, resulta desastroso. Haken aclara este fenómeno con su ejemplo preferido, la luz láser : si se controlara átomo a átomo para sintonizar su emisión de electrones desde el exterior, el esfuerzo sería inmenso y descabellado. Sin embargo, si a los átomos se les deja libres y se manejan adecuadamente los parámetros de control, se obtiene la autoorganización deseada, con un mínimo esfuerzo y una eficacia óptima. Dice Haken que en economía ocurre algo similar, y nosotros agregamos que tal fenómeno de esfuerzo mínimo y eficacia óptima la obtendríamos también en el urbanismo, potenciando la autoorganización. El problema radica en disponer con claridad los **parámetros de control** : gente consciente, responsable y formada.

Con tal conocimiento, la **arquitectura conjuntiva** –la que compone mayoritariamente el tejido urbano– podría despojarse paulatinamente del calificativo "seudo", para transformarse en arquitectura. En el capítulo II veremos cómo la **percolación dirigida** puede coadyuvar en este sentido.

Capítulo VIII - Análisis sinérgico de la situación actual de la arquitectura

Este análisis se propone como un ejemplo de la metodología sinérgica expuesta en el capítulo VI. Huelga decir que un análisis de la arquitectura internacional, por muy esquemático que sea, requiere un plantel de profesionales

coordinados. Nosotros nos conformaremos con una **visión de conjunto** del sistema arquitectural en el estado actual, utilizando para ello la bibliografía procedente de críticos, historiadores y arquitectos. En la selección de esta bibliografía, hemos procurado adoptar el criterio de la objetividad, dejando las "simpatías formales" desconectadas. Un estudio científico del sistema arquitectural debe de estar por encima de los "partidismos estilísticos". Nosotros no entramos a valorar aquí si el Posmoderno es mejor o peor que el Tardomoderno, o si la tendencia "clasicismo vernáculo" despierta más simpatías populares que la tendencia "High-Tech". El análisis sinérgico se propone estudiar los **hechos arquitectónicos**; cómo éstos interactúan en su medio social; cómo nacen, crecen y mueren los estilos, es decir, cómo se estructura el mundo de la arquitectura.

Para tal objetivo, comenzaremos por "**sinergetigrafiar**" el sistema global de la Arquitectura Occidental y Japonesa, que va desde los años 60 a los 90, dividiendo este tramo temporal en dos períodos : 60-80 y 80-90.

Sinergetigrafiar supone "**fichar**" las tendencias nucleadas -ordenadores sinérgicos- con sus características más relevantes : formales, usos preferentes, grados de implantación, factores impulsores principales y estados evolutivos. De este modo, se conoce el estado del sistema arquitectural en el momento de su análisis.

Pero "fichar" tendencias supone diferenciarlas. En consecuencia, subyace en este proceso una acción clasificatoria. Cuando el mundo específico que se pretende estudiar se presenta muy complejo, la historia de la civilización ha demostrado que la taxonomía resulta una herramienta útil : Linneo en el mundo orgánico; Mendeleiev en los elementos químicos, etc.

Clasificar las tendencias arquitectónicas en clases, órdenes, familias, géneros y especies, equivale a sentar unos criterios, a fijar unas variables diferenciadoras

de los hechos arquitectónicos contemplados bajo las dimensiones conformadoras de los mismos : ideologías, estilísticas e ideas de diseño.

De la bibliografía consultada, la obra publicada del arquitecto y crítico inglés **Charles Jencks** nos pareció la que discurría en este sentido taxonómico : **cuadro de las treinta variables** –lupa de Jencks de 30 aumentos– de la clasificación de los movimientos arquitectónicos y los **árboles evolutivos** de la arquitectura. Ésta es la razón por la que, en este capítulo se recurre con más frecuencia que a otros, a Jencks, para la toma de datos del sistema arquitectural, sin que ello presuponga estar a favor o en contra de sus teorías, opiniones o modos de ver la arquitectura.

La confección de las fichas de tendencias y de los cuadros interactivos, se realizan en base a criterios de la **lógica difusa**, o lógica borrosa como también se la conoce. Cuando no se dispone de datos suficientes para sentenciar si tal variable toma este o aquel estado, se recurre, dando por supuesta la honestidad intelectual, a factores aproximativos que, desde una óptica instrumental, sirven para cumplir no sólo con el aspecto metodológico, sino también con el de acercamiento a la realidad del fenómeno. Así nacieron el cálculo de probabilidades y el de posibilidades. El primero se enmarca en una perspectiva más objetiva, con modelización matemática rigurosa, mientras que el segundo se inclina más hacia la subjetividad, porque las circunstancias le impulsan en ese sentido. Como dicen Kaufmann y Gil Aluja : "La estadística, las probabilidades, los errores, los intervalos de confianza, lo borroso; todo ésto forma un todo que hay que saber utilizar convenientemente. La medida permite construir modelos más fiables, pero a condición de que la medida en sí misma sea fiable. A falta de medida, examinaremos la "valuación". A falta de pan, buenas son tortas.

Es evidente que lo ideal en toda ciencia es la objetividad, pero la realidad nos obliga día a día a tener en cuenta las informaciones accesibles menos seguras, pero utilizables en nuestros razonamientos y en los ordenadores".

Fichas, cuadros sinópticos y cuadros de interacción de tendencias nos adentran en el análisis sinérgico del sistema arquitectural. La interacción dinámica de las tendencias puede ser de tres tipos : competencia, cooperación y coexistencia. Cada tendencia interioriza su historia : qué fuerzas externas e internas al sistema la generaron. El historial de cada tendencia –fichas– y el campo interaccional con las demás, define su estado dinámico y su evolución. El campo fluctuacional generado nos pondrá en antecedentes de las convergencias, divergencias o indiferencias entre tendencias. Cuáles cobran más fuerza y se convierten en dominantes, cuáles quedan estacionadas, y cuáles se extinguen.

El análisis sinérgico anterior nos sitúa dentro de la formación de la estructura arquitectónica emergente. Son "las leyes generales de la formación de estructuras", de las que habla Haken.

El sistema arquitectural global no es homogéneo. Los distintos subsistemas locales que lo componen no participan de igual modo en la acción conjunta impuesta por los ordenadores sinérgicos globales. Existen decalajes entre los diversos subsistemas. Un determinado estilo arquitectónico no se difunde de la noche a la mañana por todo el sistema. Habrá zonas a las que llegará tarde, o no llegará.

Como en toda evolución, unas tendencias se habrán transformado y otras quedarán en estado de residualidad progresiva hasta su posible extinción.

El sistema arquitectural, como sistema dinámico abierto de un alto grado de complejidad, muestra también sus **atractores**. Los neo-estilos son como atractores arquitectónicos, en cuya cuenca parecen zambullirse los estilos en épocas críticas, de inestabilidad, buscando el relax del equilibrio.

La **percolación**, otra rama de las Ciencias de la Complejidad, podría

complementar aspectos del estudio de la transición de fase en los puntos críticos.

El ejemplo que desarrolla este capítulo sobre la arquitectura internacional – arquitectura occidental y japonesa– es un ejemplo de estudio de **macronivel**. Análisis necesario, o mejor dicho, se hace necesario tener conocimiento de él para saber qué ordenadores sinérgicos globales pueden incidir en el estudio concreto de un área local –ciudad, municipio, comarca, región, nación, etc.–

El estudio de un área local corresponde a un análisis de **micronivel**. Procediendo con igual metodología que en la de macronivel, la sinérgica nos permitirá llegar al núcleo de la formación de la estructura arquitectónica. Si en el ejemplo de la luz láser, el estado excitado de los electrones permite conocer su incorporación a la onda dominante, en el análisis de micronivel de la arquitectura, el conocimiento de la capacidad profesional de cada arquitecto y del medio socio-cultural en que se halla inmerso, facilita las pautas de incorporación a la onda u ondas dominantes que constituyen las tendencias arquitectónicas. En este nivel, se podrá ver hasta qué punto el arquitecto es creador, asimilador, o la mezcla de ambas cosas. Cómo coadyuva en la formación de la tendencia dominante, y cómo es esclavizado por ella.

De lo anterior se infieren cotas de posibles evoluciones. **El futuro del sistema arquitectural** pasa por un estudio sinérgico en profundidad del mismo que, teniendo en cuenta que, como se reitera a lo largo de este trabajo, el sistema arquitectural no se puede aislar para su estudio, sino que siempre deben estar presentes las fuerzas sociales con su cultura en sentido lato –mundo III popperiano–. Pasado, presente y futuro se imbrican en el acto proyectual. La historia como memoria; el presente con su filosofía de la cotidianidad y el futuro con sus sueños, anhelos y utopías que le dan sentido a la vida.

Hablando de utopías realizables, o de metas alcanzables, una **arquitectura**

sinérgica podría ser el horizonte próximo de esa arquitectura que, conociendo al ser humano en toda su profundidad, le brinde el hábitat adecuado en el que la ciencia, la tecnología y el arte <CTA>, se fundan en la "varita mágica" transformadora de esas ciudades inhóspitas, indignas del ser humano, conformando el paraíso de las mil maravillas, en las que el ser humano con su cultura, su identidad, su historia, progrese en la única dirección posible : la realización plena del individuo como persona digna, inserta en una sociedad en la que reina la **democracia integral**, como garante de los plenos derechos del ser humano.

Capítulo IX - Conclusiones

En este capítulo, como su nombre indica, más que un resumen de este trabajo, que ha resultado más amplio de lo previsto, se sintetizan los aspectos fundamentales de la tesis, destacando cómo las Ciencias de la Complejidad y, en especial, la Sinérgica, constituyen un modelo científico reciente, de largo alcance, que se muestra como el más adecuado para estudiar sistemas tan complejos como el de la Arquitectura y el Urbanismo.

CAPITULO I

FILOSOFIA, IDEOLOGIA Y ARQUITECTURA

FILOSOFIA

Aún siendo tan fundamentales estos factores económicos, el origen inmediato de los cambios de ideales en arquitectura fue más filosófico y entronca con un nuevo modo de conocer que puede llamarse conocimiento histórico.

Peter Collins

La Arquitectura hecha filosofía

La visita a la tumba de Brion, en San Vito d'Altivole – conocido vulgarmente por el Cementerio de Brion–, del arquitecto Carlo Scarpa, me produjo una gran emoción. La composición del espacio presenta todas las claves de una semiología

de la vida y la muerte. En ese espacio, que juega con la dualidad intencionada: abierto-cerrado, transparente-opaco, limitado-ilimitado; se nos invita a reflexionar sobre esta perenne dualidad vida-muerte.

Al recorrer el Cementerio de Brion, impregnándose de sus múltiples sugerencias, unas muy claras, otras misteriosas, no puede uno eludir los pensamientos profundos que nos inducen las filosofías de las causas últimas del existir, o al encanto poético que supone adentrarse en la eterna nada como un sueño y despertar gozoso sabiendo que la vida te ofrece múltiples ramificaciones de la Gran Belleza.

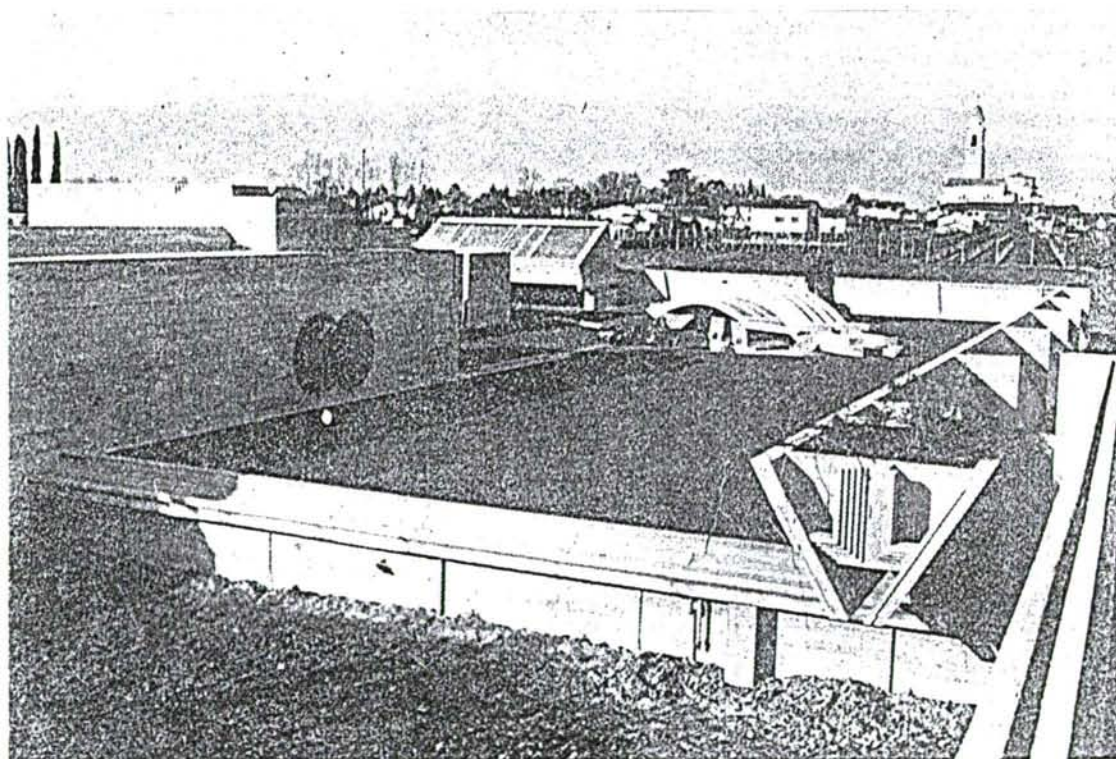
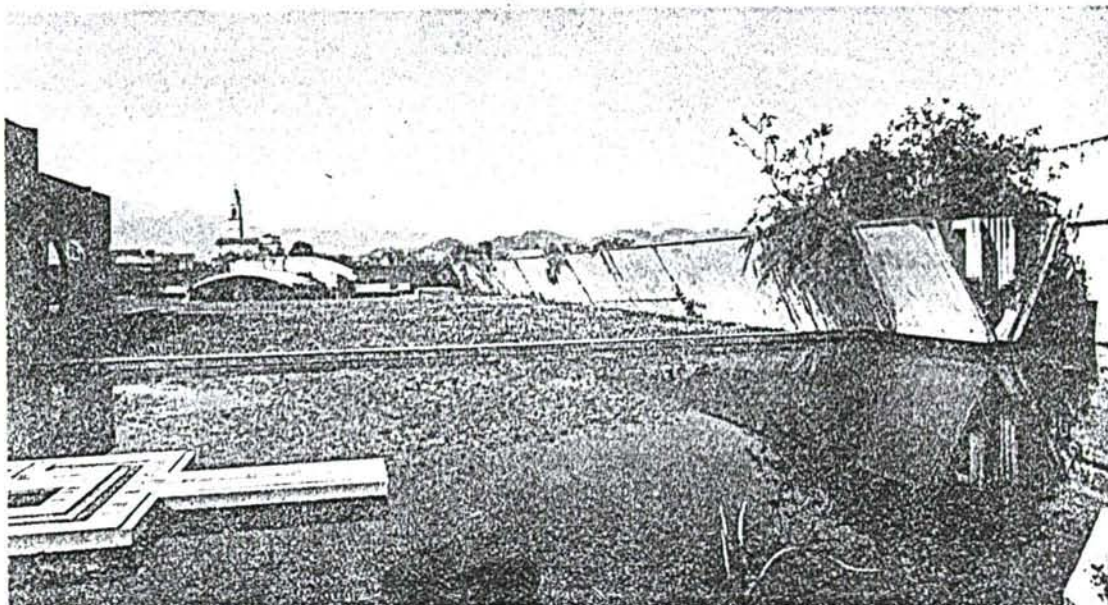
El Cementerio de Brion de Carlo Scarpa, cristalizó, en San Vito, una dualidad eterna Filosofía-Poesía. Pensar y sentir, dos componentesineludibles para hacer Arquitectura. Sin esos materiales se podrá hacer construcción, edificación, pero no Arquitectura. Carlo Scarpa, no sólo realizó en San Vito una gran obra maestra, no sólo erigió un templo a la dualidad indisoluble Vida-Muerte, si no que musicalizó esa otra gran dualidad Pensar-Sentir, como claro exponente del Espíritu, esencia de la Vida.

Los summa y la Arquitectura

Erwin Panofsky, en su obra **Arquitectura gótica y pensamiento escolástico**, rompiendo los moldes de las idealizaciones intuicionistas y simplificaciones positivistas, con su método riguroso derivado de la escuela iconológica de Warburg, plasma las homologías entre la filosofía escolástica y las catedrales góticas.

Dice Panofsky :

Durante la fase "concentrada" de este desarrollo extraordinariamente



Cimitero de Brion
San Vito de Altivole, Treviso, Italia, 1970 - 1975
Arq. Carlo Scarpa

LAMINA I.1

sincrónico, es decir, durante el período que se extiende aproximadamente entre 1130 – 1140 y 1270 se puede observar, a mi juicio, una conexión entre el arte gótico y la escolástica que resulta más concreta que un simple "paralelismo" y no obstante más general que "esas influencias individuales" (y también tan importantes) que los consejeros eruditos ejercen sobre pintores, escultores o los arquitectos. Esta conexión, en oposición a un simple paralelismo, es una auténtica relación de causa–efecto. Esta relación de causa–efecto, en oposición a una influencia individual, se instaura más por difusión que por contacto directo. Se establece de hecho a través de la difusión de lo que puede denominarse, a falta de una expresión mejor, un hábito mental –entendiendo este utilizado cliché en el sentido escolástico más preciso : "principio que regula el acto", **principium importans ordinem ad actum** (Summa Theologiae – Tomás de Aquino).

Tales hábitos mentales existen en todo tipo de civilizaciones.

En esta cita, un sistema dinámico como el social proyecta "emergentes ordenadores del sistema". Se trata de un ordenador sinérgico que, como veremos en el capítulo dedicado a este tema, difunde y correlaciona todas las partes, para mantener un estado ordenado.

La filosofía escolástica ostentaba el monopolio educativo. En las instituciones y escuelas monásticas, las nuevas órdenes mendicantes formaban a sus discípulos en el movimiento escolástico.

El conflicto entre la fe y la razón tratan de conjugarlo, en el siglo XI, Anselmo de Bec y Lanfranc. Lo sistematizan, en el siglo XII, Abelardo y Gilberto de Porrée. Como afirma Panofsky, a partir de entonces "la escolástica primitiva nació en el mismo momento y en el mismo ambiente que la primitiva arquitectura gótica, la de Saint–Denis de Sugert". El centro difusor, enclavado en un radio de 150 Km de París, irradiaba su influencia allende las fronteras.

Panofsky divide en tres períodos –primitivo, clásico y tardío– la filosofía escolástica y la arquitectura gótica.

Bajo el reinado de San Luis, tiene lugar el apogeo, el período clásico, tanto de la filosofía escolástica como de la arquitectura gótica, y esto tiene su comienzo a finales del siglo XII.

Como nos dice Panofsky : "Los rasgos distintivos de la escolástica clásica (en oposición a la primitiva) presentan sorprendentes analogías con los del arte gótico clásico (en oposición al primitivo)".

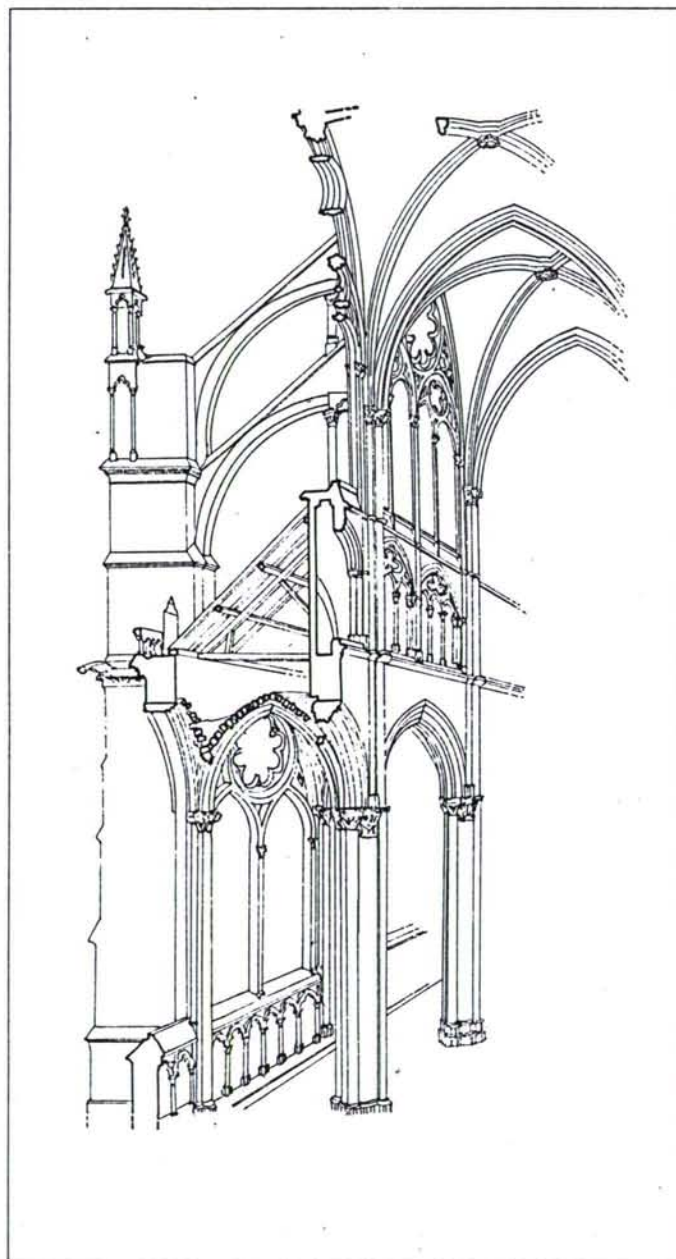
El período clásico que se inicia a finales del siglo XII y se extiende en el XIII es el de los grandes filósofos escolásticos y de los arquitectos. Entre los primeros, la figura del dominico Santo Tomás de Aquino (siglo XIII) es relevante. Este filósofo intenta armonizar la doctrina de la Iglesia Católica con la filosofía de Aristóteles. El siglo XIII será el siglo de oro de la Escolástica Cristiana.

El término "escolástica" procede de **scholasticus** (escolástico) con el significado de enseñante en una escuela.

Concretamente el **scholasticus** se denominaba en un principio al que enseñaba las artes liberales, el **Trivium** y el **Quadrivium** en las escuelas monacales. Más tarde, "escolástico" significó "maestro que sigue ciertas corrientes filosóficas, adaptándolas como métodos de enseñanza".

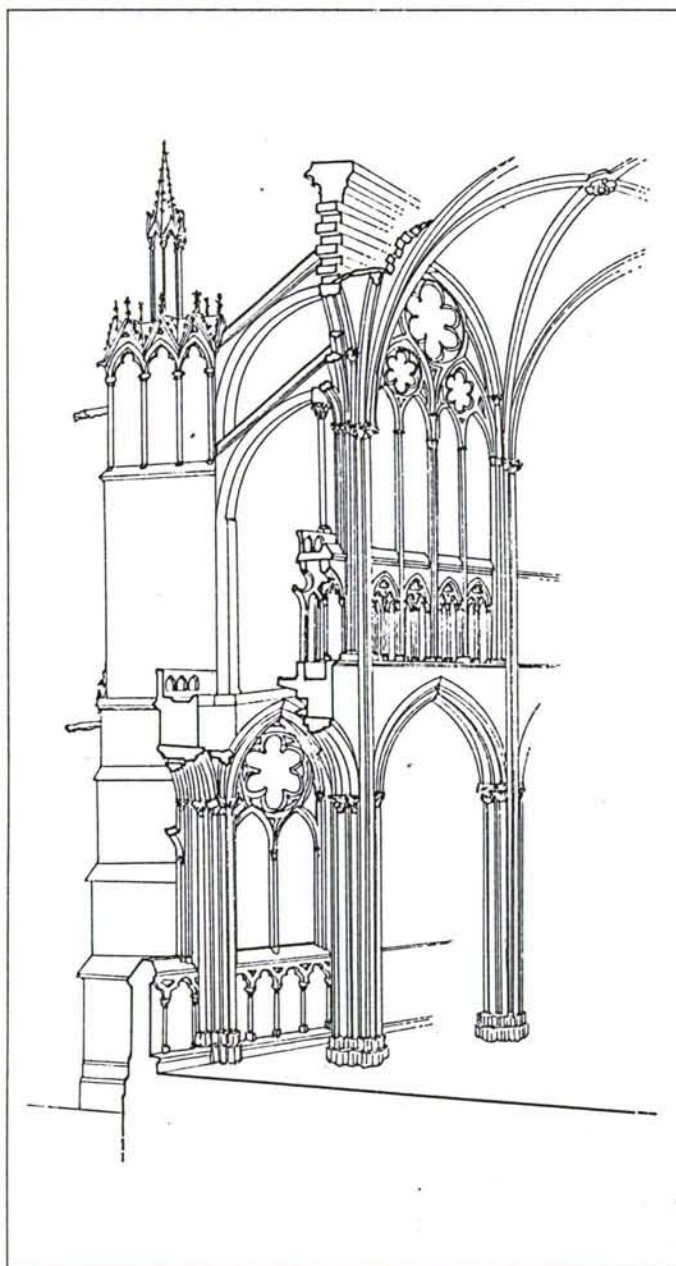
Las summas eran unos tratados de grandes síntesis teológico-filosóficas. En el siglo XII se aplicaba el término para designar una colección de sentencias, si bien fue ampliado su contenido más tarde, pudiendo ser también teológicas o filosóficas. Los sumistas se adelantan a los sentenciadores, en darle la estructura adecuada. La **Summa theológica**, de Santo Tomás, a pesar de ser una obra incompleta, se convierte en una obra fundamental de la filosofía escolástica.

Siguiendo con las homologías que Panofsky encuentra entre la filosofía escolástica y el arte gótico, nos dice este autor :



Estructura de la nave gótica, según
Viollet-le-Duc. Amiens, Catedral de
Saint-Denis, iglesia de la Abadía.

LAMINA I.2



Estructura de la nave gótica, según
Viollet-le-Duc. Amiens, Catedral de
Saint-Denis, iglesia de la Abadía.

LAMINA I.3

Se ha señalado justamente que la delicada viveza que distingue a los personajes del primer gótico de la fachada oeste de Chartres de sus predecesores románicos refleja la renovación del interés por la psicología que había permanecido adormecida durante muchos siglos; pero esta psicología todavía se asentaba sobre la dicotomía bíblica y agustiniana entre el "soplo de vida" y el "polvo terrestre". Desde Reims y Amiens hasta Estrasburgo y Naumburgo, las estatuas clásicas, infinitamente más vivas (sin llegar a ser todavía retratos) y la flora y la fauna absolutamente naturales (sin ser naturalistas) de la ornamentación clásica proclaman la victoria del aristotelismo. Al mismo tiempo que proclaman la inmortalidad del alma humana, se manifiesta en ellas el **principio organizador y unificador** del mismo cuerpo más que de una sustancia independiente. (El subrayado es nuestro).

Principio organizador y unificador, nos recuerda la evolución de los sistemas dinámicos sociales, donde, ante posibles inestabilidades, la propia sociedad crea ordenadores sinérgicos; en este caso, son las ideas unificadoras que los filósofos escolásticos difunden para crear orden.

El antropólogo francés Georges Balandier publica, en 1988, un ensayo titulado "**El desorden -La teoría del caos en las Ciencias Sociales**" en el cual enfoca el binomio orden-desorden social desde la perspectiva de las Ciencias de la Complejidad, la Caología. En este ensayo, Balandier demuestra cómo **los mitos de origen** son exponentes de un orden extraído del caos, de los ritos que cooperan en ese orden y la tradición que colabora con esa tendencia. De cómo el pensamiento científico formula las preguntas y el pensamiento mítico las contesta.

En su análisis, Balandier señala cómo el mito proclama el orden primordial, y cómo el relato científico es corregible y corregido, mientras que el "relato mítico, una vez establecido, requiere una perennidad y no varía realmente sino manteniendo sus apariencias, su forma; se inscribe en una tradición, echa raíces, y es la migración la que provoca su metamorfosis en otros lugares".

"El mito, por naturaleza, no tiene comprobación. De ahí resulta la incertidumbre de su identificación. El **"mythos"** griego remite igualmente a la palabra mentirosa, generadora de ilusión, como a la palabra capaz de alcanzar la verdad; esto llevó a Aristóteles a la conclusión de que "el amor a los mitos es de alguna manera amor a la sabiduría". En este caso se le reconoce al mito el poder de inclinar el espíritu a la investigación, comenzando por la búsqueda de su propio sentido, pues tanto misterio y oscuridad contiene. Es incluso debido a esa dificultad, a su forma enigmática, que el mito fascina, obligando al desciframiento, a la lectura iniciática".

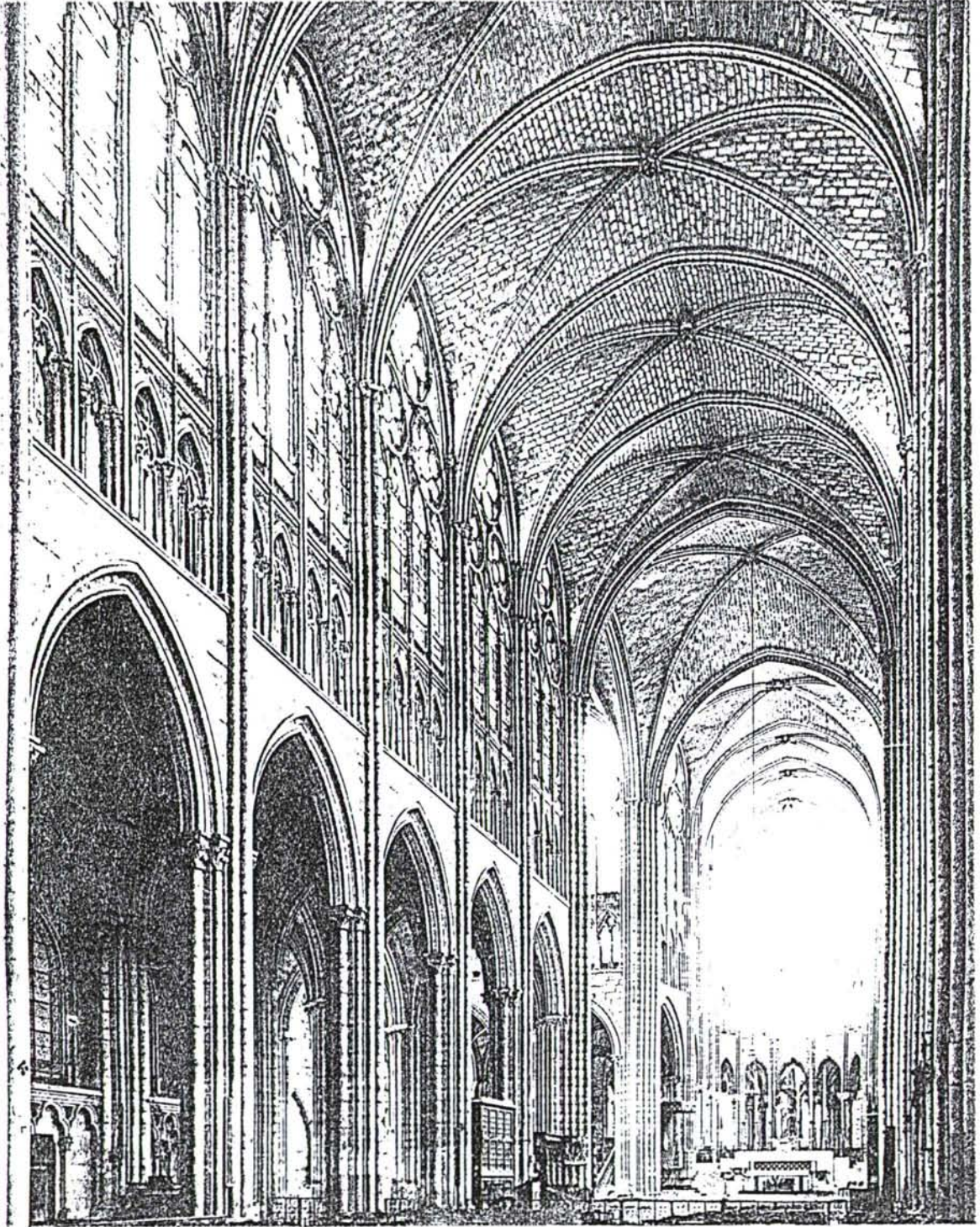
Si el mito presenta esa función organizadora de la sociedad, la búsqueda de su esclarecimiento condujo a la filosofía como indagadora del orden universal. Más tarde, "la ciencia", derivada de la filosofía, irrumpirá en el caos, extrayendo elementos tangibles de una naturaleza ordenada según leyes férreas, deterministas, que nuestro siglo XX, con la revolución de la teoría cuántica, pondrá en entredicho.

El arquitecto del período gótico asumía el orden derivado de la filosofía escolástica. En la redacción del proyecto contaba con la colaboración de los escolásticos. Él mismo es considerado como un escolástico.

El **"modus operandi"**, derivado de un **"modus assendi"**, constituye la forma de explicitar la unidad de la verdad que se manifiesta en la escolástica primitiva y clásica. Había que compatibilizar la razón y la fe.

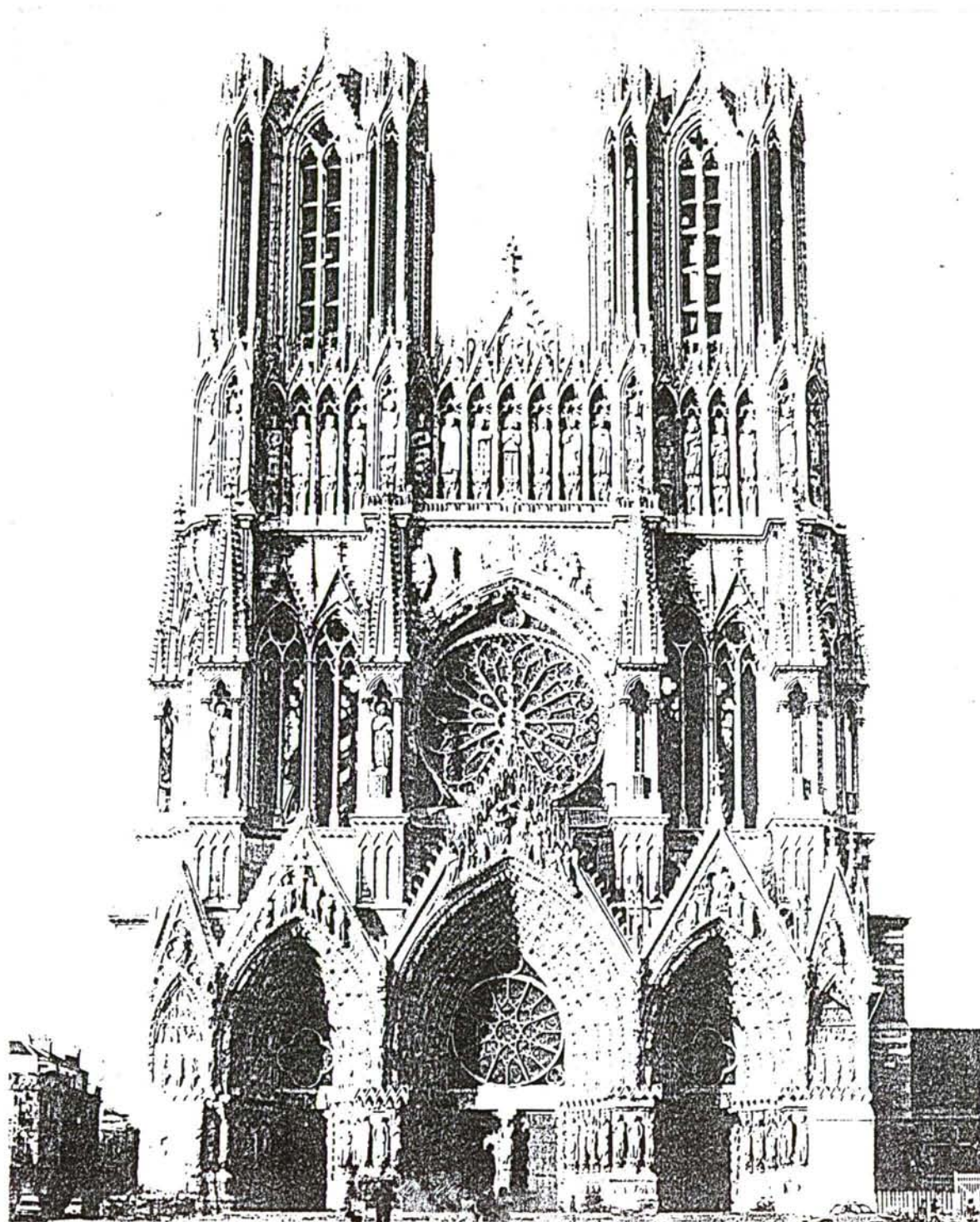
Santo Tomás señala : "La doctrina sagrada se sirve también de la razón humana, no para probar la fe, sino para manifestar (manifestarse) todo lo que ha sido explicitado en la doctrina".

El **principio regulador**, tanto de la escolástica primitiva como clásica, es la **"manifestatio"**. La Summa Theologiae de Tomás de Aquino se estructura de



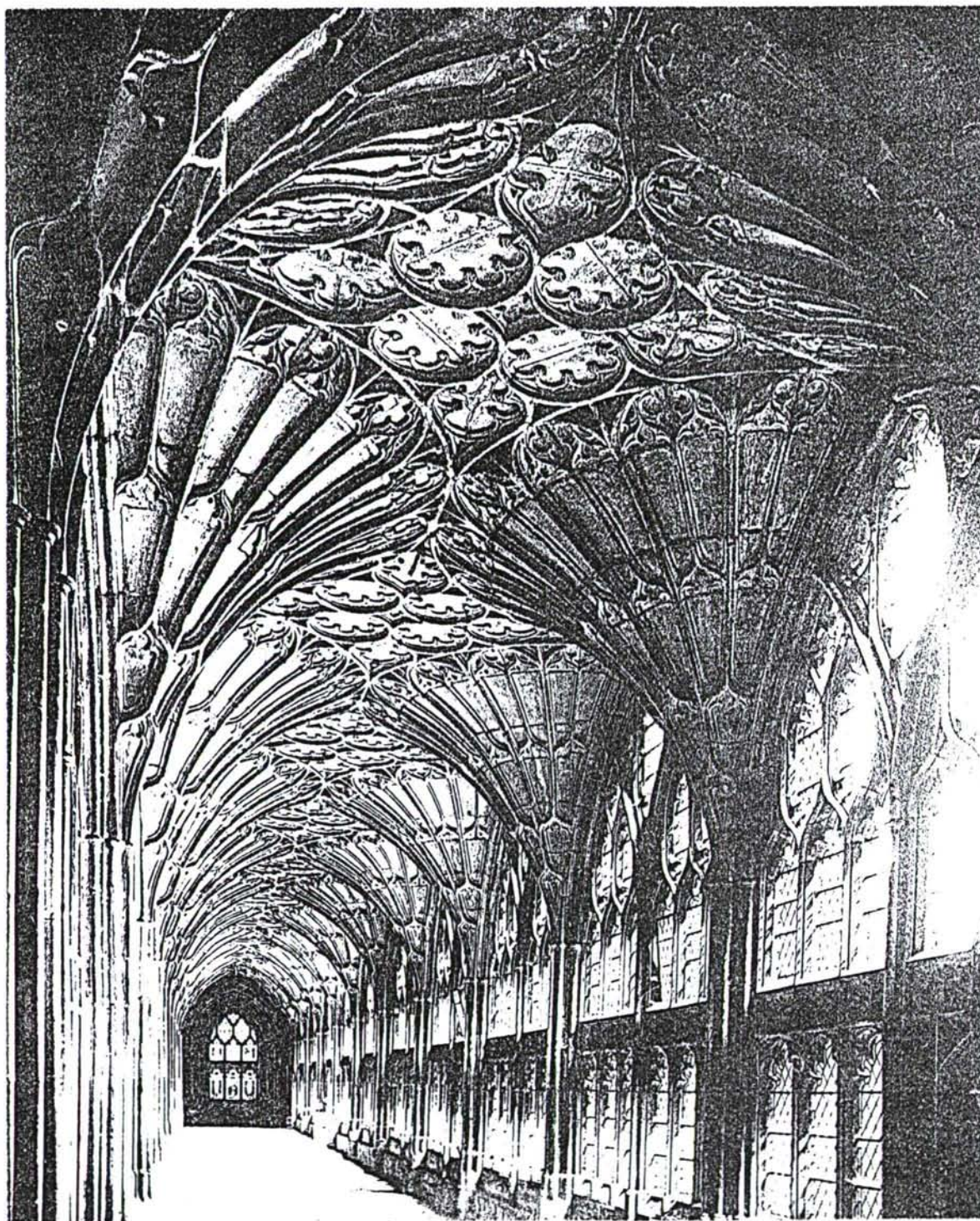
Saint-Denis, iglesia de la Abadía, interior.

LAMINA I.4



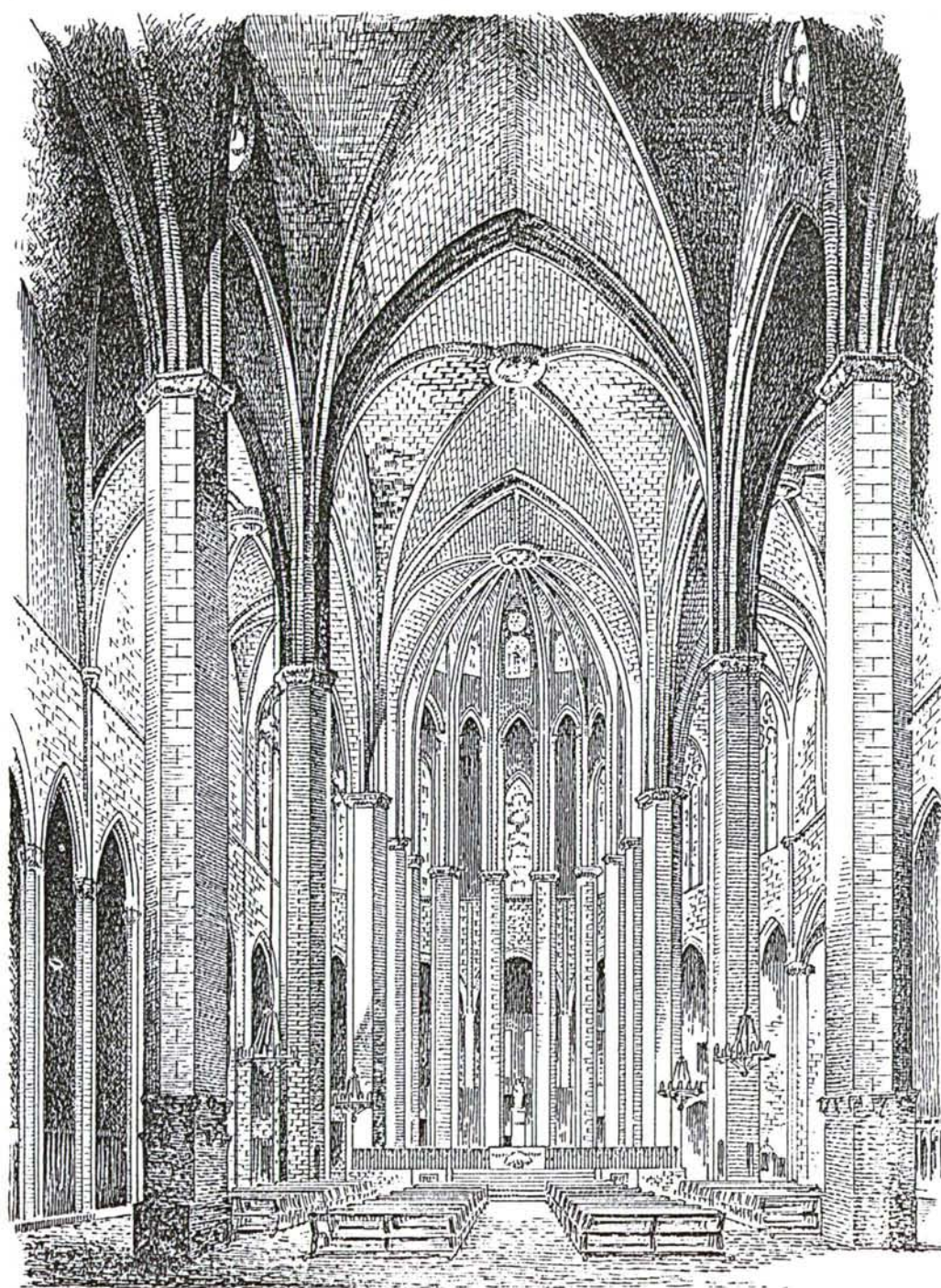
Fachada de la Catedral de Reims.

LAMINA 1.5



Claustro de la Catedral de Gloucester.

LAMINA I.6



Basílica de Santa María de la Mar,
en el barcelonés barrio de Ribera.

LAMINA 1.7

modo sistemáticamente ordenado. Las partes constitutivas se van subdividiendo sucesivamente en **membra**, **quastiones** y en **articuli**. Y estos "articuli", a su vez, se descomponen en **intendi potest dupliciter, tripliciter, etc.** Ésto demuestra cómo los escolásticos exponían la lógica y el orden de su pensamiento.

El principio regulador de la "**manifestatio**" pretendía la máxima clarificación.

Como indica Panofsky, "un hombre impregnado de escolástica no podía adoptar más que un punto de vista, el de la **manifestatio** : y ésto es así tanto si se trata del modo de presentación literaria como del modo de presentación arquitectónica".

La dialéctica escolástica impregnaba de tal modo la vida de los artistas, que se tomaba como pauta de ejecución de la obra.

La composición arquitectónica se articulaba de modo similar a la Summa.

Citando a Panofsky :

Para él (arquitecto), la panoplia de columnas, arcos, contrafuertes, rellenos, pináculos y agujas es un autoanálisis y una autoexplicación de la arquitectura, de modo semejante a como el conocido sistema de partes, distinciones, cuestiones, y artículos de un autoanálisis y autoexplicación de la razón. Mientras que el espíritu humano exige un máximo de "armonía" (un estilo impecable de la escritura, una proporción impecable en arquitectura, cuya ausencia denuncia cruelmente Vasari respecto a las formas góticas), el espíritu escolástico reclama un máximo de explicitación. Este espíritu admite y exige una clarificación gratuita de la función a través de la forma, del mismo modo que admite y exige una clarificación gratuita del pensamiento a través del lenguaje.

Panofsky nos demuestra en la obra citada esas "homologías profundas" entre

la filosofía escolástica y la arquitectura gótica. Tal filosofía era un principio ordenador que la mentalidad de la época correlacionaba en todos los ámbitos del sistema. La estabilidad del sistema arquitectural manifestaba ese ordenador sinérgico, donde las fluctuaciones eran canalizadas en estructuras formales coherentes, con espíritu unitario.

La arquitectura gótica asume la Summa, como un ejemplo claro de una influencia directa de la filosofía en la arquitectura.

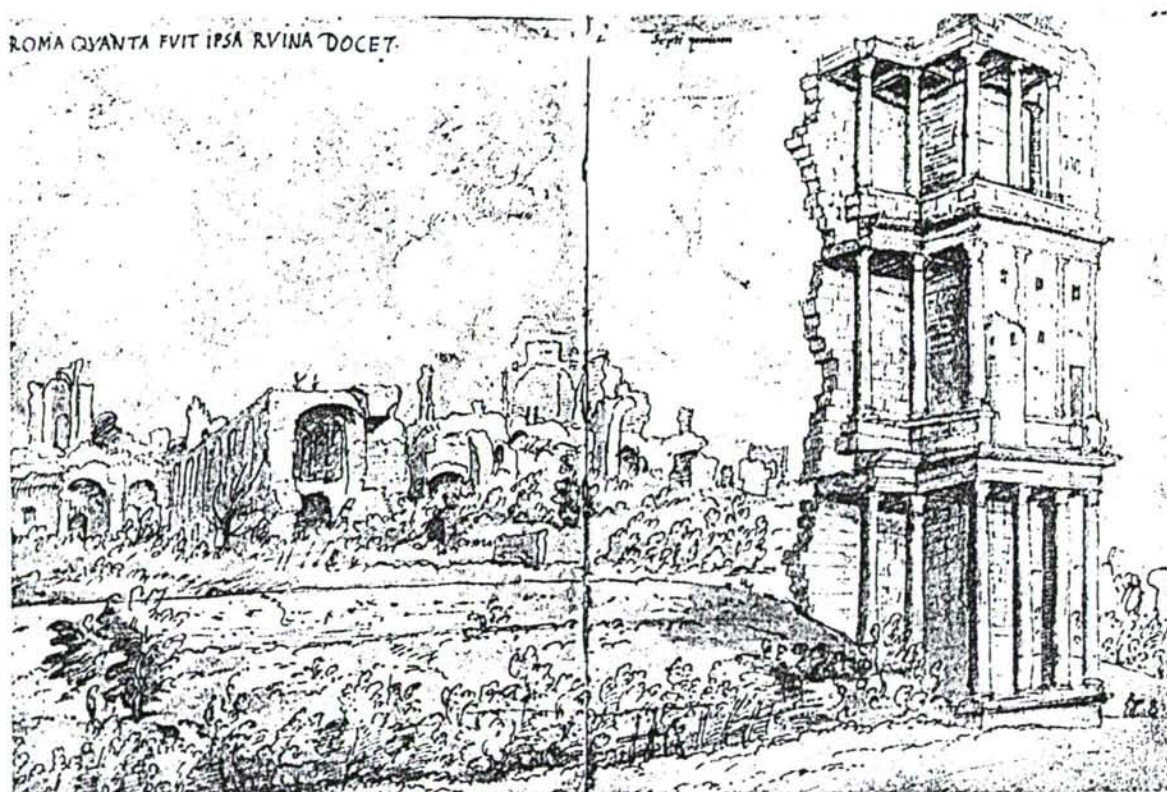
Desde una perspectiva sinérgica, significa que la Summa expresa el parámetro ordenador u ordenador sinérgico que "esclaviza" a los arquitectos góticos.

Humanismo y Arquitectura

Dado que no pretendemos exponer aquí un análisis de todos los períodos históricos de las interrelaciones entre la filosofía y la arquitectura, sí nos interesa destacar algunos aspectos de la transición de la Edad Media a la Edad Moderna que, en el inicio de ésta, conocemos con el nombre de **Renacimiento**.

La transición se puede asimilar a las que se producen en los sistemas sinérgicos.

El siglo XIII fue el siglo dorado de la filosofía escolástica. En la centuria siguiente, **Guillermo de Occam**, monje franciscano, pondrá el acento en la aguda crisis acaecida en el seno de la filosofía tomista. Como sabemos, esta filosofía presentaba una síntesis entre teología y filosofía aristotélica. El intelectualismo cristiano y una sistematización metafísica se estructuraban armoniosamente en la filosofía de Santo Tomás. Todo sistema filosófico aspira a dar una explicación racional del mundo. Como tal sistema, tiene normalmente una base especulativa,



Dibujo del pintor holandés Marten von Heemskerck.
Dibujo del Septizonium.

por la cual no podrá evitar en su evolución la acción de otros pensadores, que muestren las fisuras de aquél. La unión de fe y razón que había logrado orquestar Tomás de Aquino provocó sus reacciones. Una de ellas, la de un empirismo escéptico emergente en el siglo XIII, le propina un duro golpe al tomismo, empujándolo a la decadencia. El otro golpe le vendrá del **franciscanismo**.

Las figuras relevantes de la filosofía franciscana son : San Buenaventura y Duns Escoto. El primero no pone en crisis el tomismo. El segundo lo cuestiona de modo implacable, por el intelectualismo aristotélico inserto en la filosofía escolástica.

La síntesis de Escoto no presenta la coherencia de la de Santo Tomás; sin embargo en ella asoman conceptos más humanos e individualistas.

En la filosofía de Escoto germina el **nominalismo escéptico** que, en el siglo XIV, cobra vigor y fuerza provocando la decadencia de la Escolástica a la que Guillermo de Occam pondrá su punto final.

El pensamiento de Occam representa la reacción escéptica y empirista que le sigue a todo período metafísico. Para este filósofo, tanto la metafísica como la teología racional son falsas. Según él, el mundo de la fe y de la razón, son incompatibles. De aquí se deriva, como corolario, que ambas entidades deben marchar separadas, ganando con ello libertad en el campo del conocimiento y en consecuencia filosofía y ciencia se despegan del orden sobrenatural que dejan para la fe.

Los rasgos fundamentales de la filosofía de Occam, que pasan al Renacimiento, son : empirismo, agnosticismo y secularización; todos ellos muy sanos para un desarrollo secularizado de la filosofía, la ciencia y el arte.

Parece existir una ley de la naturaleza humana, similar a la de la mecánica de

Newton, según la cual a toda acción se opone una reacción, pero sin la cuantificación vectorial. La crisis profunda de la escolástica sumerge al hombre en un mundo carente del entusiasmo que le proporcionaba una fe sin condicionamientos, y donde el amor por las cosas bellas, la alegría de vivir, no parecían emerger de una filosofía que se había vuelto árida y que además era cuestionada por muchos pensadores. Ante una situación así, el hombre experimenta un fuerte deseo de cambio, de renovación. Ésto, unido a una serie de hechos socio-económicos, provoca la configuración emergente, una bifurcación de la transición de fase que, en el campo de las ideas filosóficas, se denominaría Humanismo y Renacimiento al período histórico correspondiente.

El ideario humanístico, con el descubrimiento de la antigüedad clásica, sitúa al hombre en el centro del universo, en contraposición con las doctrinas anteriores.

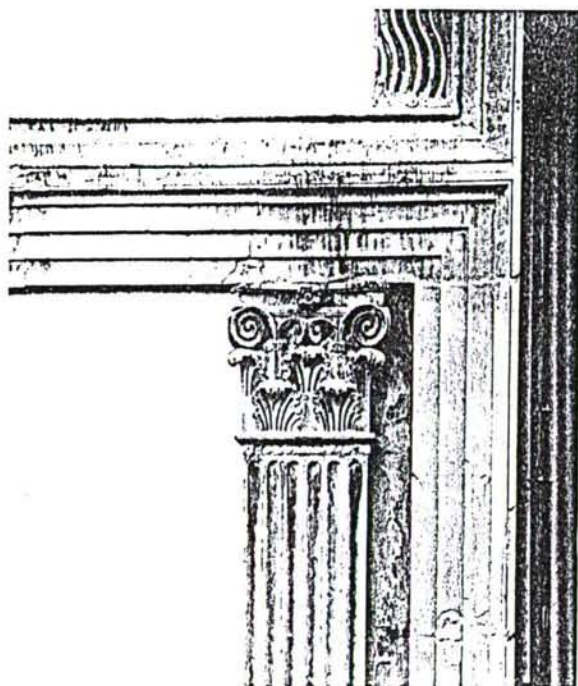
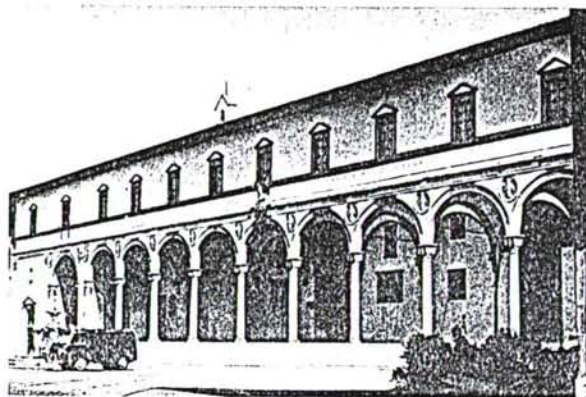
El humanismo fue un movimiento que aparece en Italia a finales del siglo XIV y que se extiende a otros países durante los siglos XV y XVI.

Algunos autores entienden el humanismo como filosofía del Renacimiento, opuesta al escolasticismo anterior. Otros autores la consideran sólo en su aspecto literario, sin estructuración filosófica.

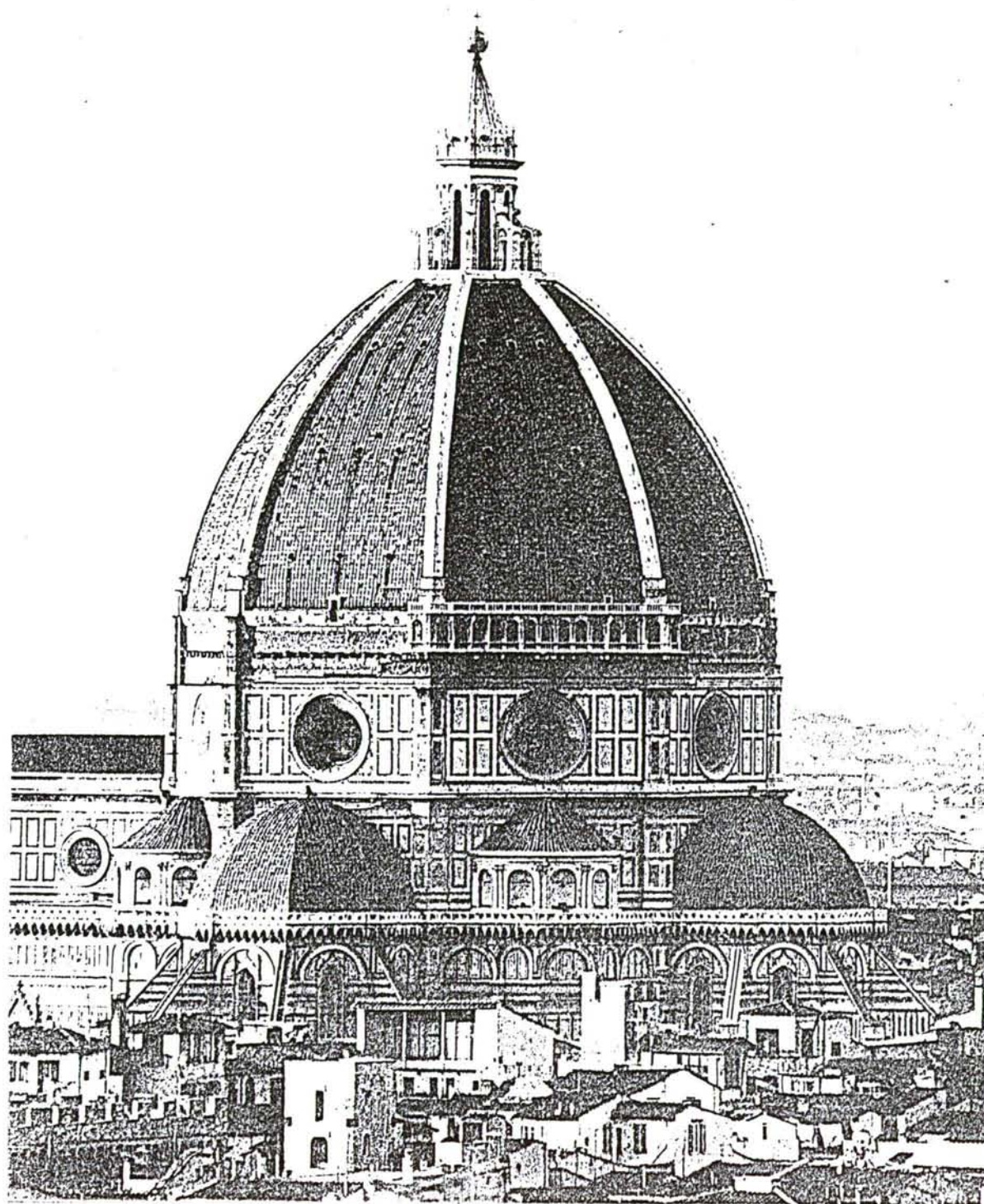
Sea como fuere, el humanismo representa un nuevo ideal humano que revaloriza el papel del hombre en cuanto a individuo, potenciando una intensa actividad en las esferas espiritual, social y política. Significa nuevas actitudes de pensamiento, ricas en formas literarias, científicas, técnicas y artísticas. El carácter teocéntrico del medievalismo queda difuminado.

En el humanismo se predica la sociedad abierta contra la sociedad cerrada.

El Renacimiento pone sus ojos en el mundo clásico, el cual ya había puesto



Florence, Hospital de los Inocentes.
Brunelleschi, Siglo XV.



Cúpula de la Catedral de Florencia .

Principios siglo XV. Brunelleschi.

LAMINA I.10

al hombre como medida y el fin de todas las cosas. Los primeros renacentistas se abren ilusionados al valor de la naturaleza en sí, al caudal inagotable de belleza que en ella encuentran y al orden que la preside, y que la nueva ciencia les pone al descubierto.

Del mundo griego redescubren a sus filósofos, sobre todo a Platón y Aristóteles. En literatura, consideran al latín como bárbaro, e incorporan a sus obras literarias las lenguas vulgares; Petrarca y Dante son un buen ejemplo de ello.

Existe un desprecio por lo medieval y una admiración por la cultura griega y romana.

Tras el período de aridez que supuso el final de la Edad Media, el reencuentro del hombre consigo mismo le lleva a amar el gusto por la vida, por el arte, por la sensualidad pagana.

Es la gran eclosión del espíritu creador, como pocas épocas han mostrado. Recuerda Alexis Carrel en "La incógnita del hombre", cómo nunca la humanidad produjo tantos genios juntos : Leonardo da Vinci, Miguel Angel, Rafael, Brunelleschi, Alberti, Bramante, etc.

En arquitectura se imponen los tratados; Vitruvio tuvo gran difusión y sirvió de inspiración para Alberti, Serlio, Francesco di Giorgio, Palladio, Vignola y Giulio Romano.

El original latino del tratado de Vitrubio ya era conocido en toda la Edad Media, sin pena ni gloria. El Quattrocento italiano lo difunde a gran escala. Se había terminado la época de los maestros constructores, y surge la figura del arquitecto como hombre erudito. No en vano Vitrubio, en su libro **De Arquitectura**, exige que el arquitecto sea letrado, posea conocimientos de dibujo,

geometría, óptica, aritmética, física, música, acústica ...

La arquitectura pasó de ser la tradición empírica que se desarrollaba en los talleres constructores, para convertirse en una actividad con base teórica, es decir, aparece la teoría que fundamenta el quehacer arquitectónico. Como señala Joaquín Arnau Amo en "La Teoría de la Arquitectura en los Tratados", en el primer volumen dedicado a Vitrubio :

A la arquitectura concierne, pues, el establecimiento de modelos de comprensión del mundo : el mundo físico –en este sentido toda arquitectura es paisaje– y el mundo social –en este sentido toda arquitectura es historia–.

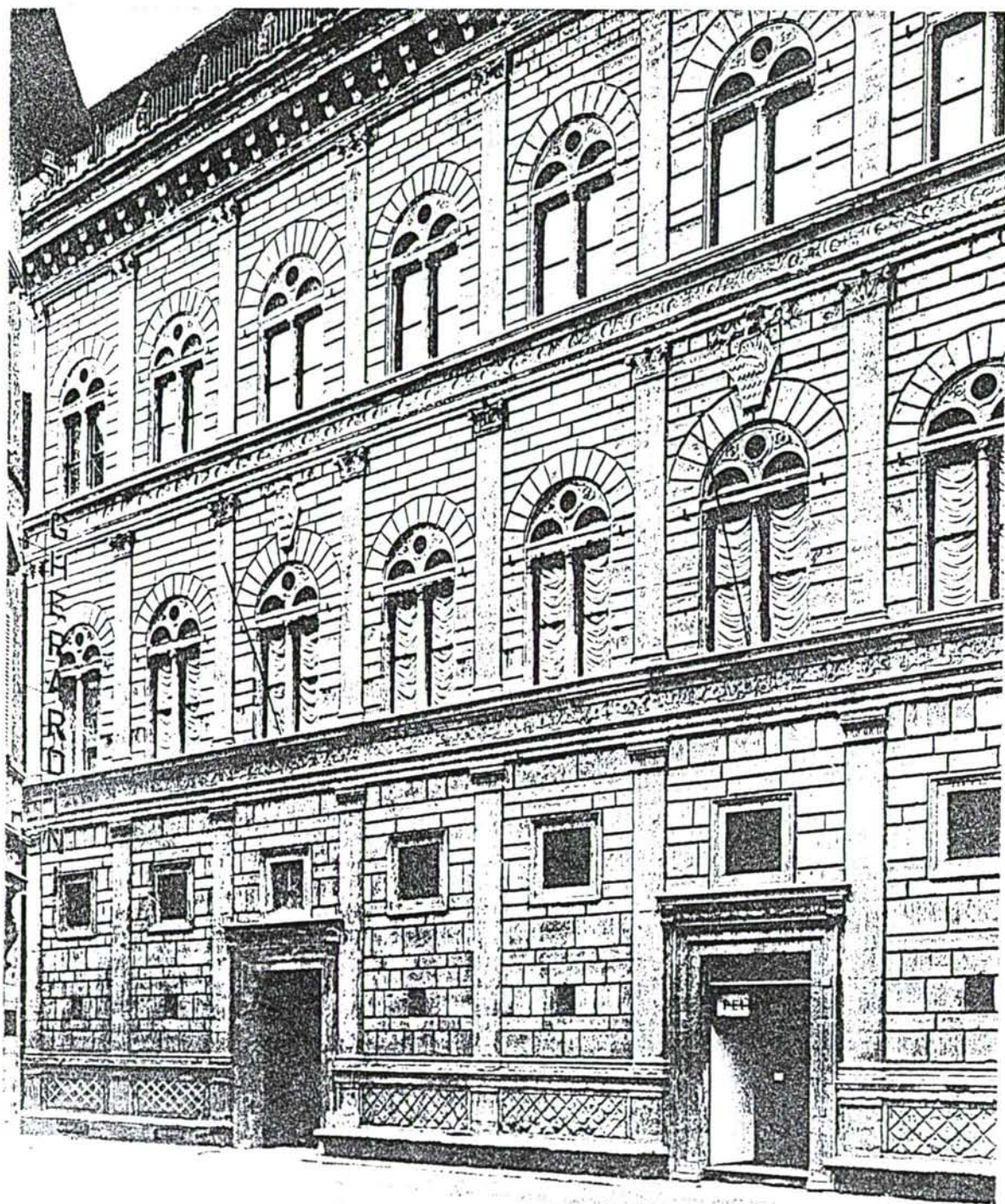
Pero, si la arquitectura es conocimiento, ella se vincula, en tanto que conocimiento, a todo el complejo, aparato de comprensión y expresión humanas a lo largo de la historia. Si la arquitectura es conocimiento, ella misma es **teoría** del mundo y teoría de la sociedad, y así ha sido y así es.

Esta afirmación del profesor Arnau vincula explícitamente la arquitectura con la sociedad y lo que en ella acontece, y por ende con el pensamiento filosófico y las ideologías que en cada momento impulsan a la sociedad.

Los nuevos descubrimientos hallados en el Renacimiento, como la perspectiva, permitieron visualizar el espacio arquitectónico sobre el papel, permitiendo elaborar nuevos conceptos sobre las relaciones espaciales.

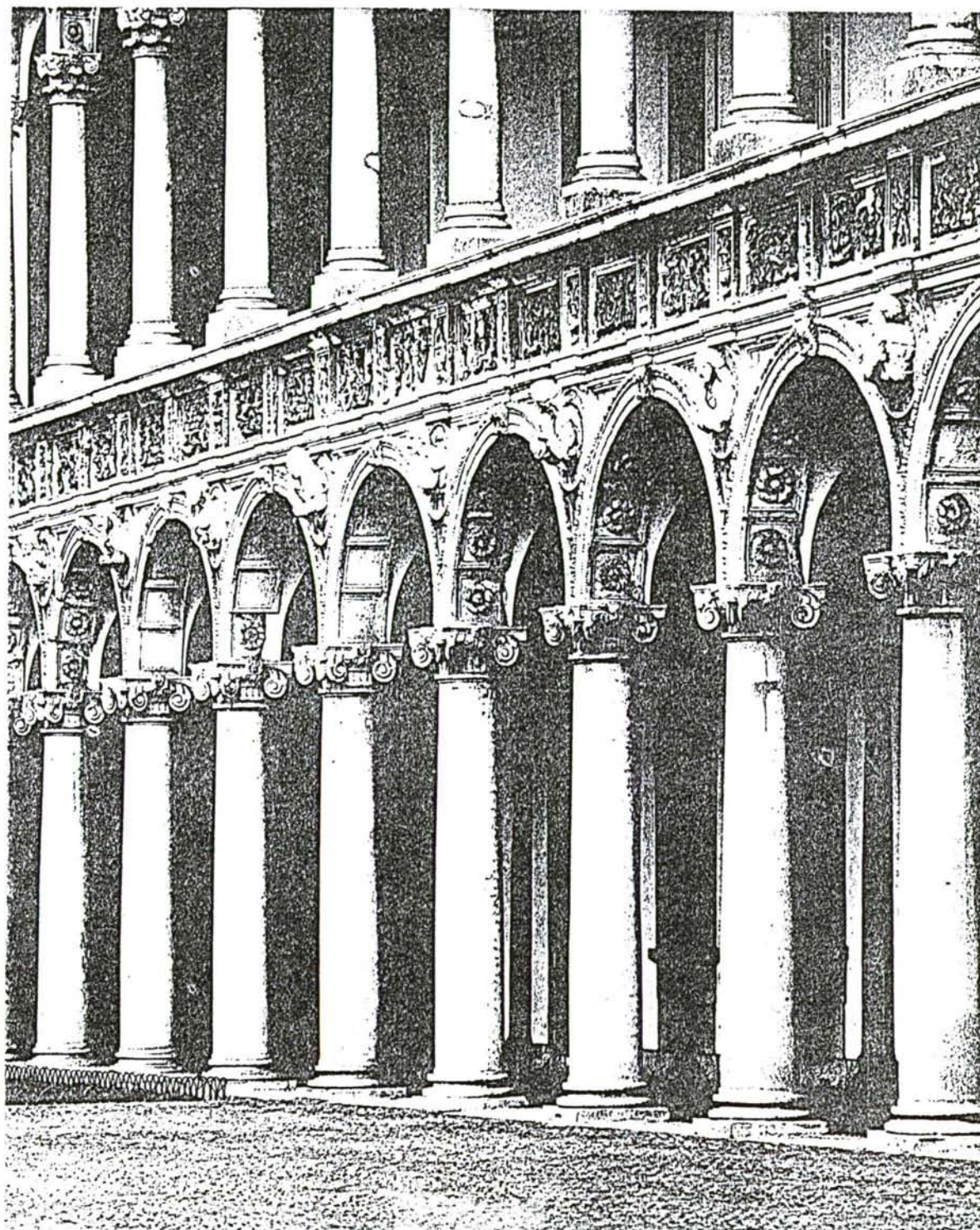
Se redescubre a Platón y Pitágoras en sus relaciones numéricas armónicas, aplicables a la música tanto desde el punto de vista físico como estético, y también a las proporciones de los objetos físicos, sea el cuerpo humano o un edificio. Es la divina proporción o número áureo, que correlaciona el todo y las partes en una síntesis de belleza.

En el tratado de Leon Battista Alberti "**De re aedificatoria**", de gran difusión



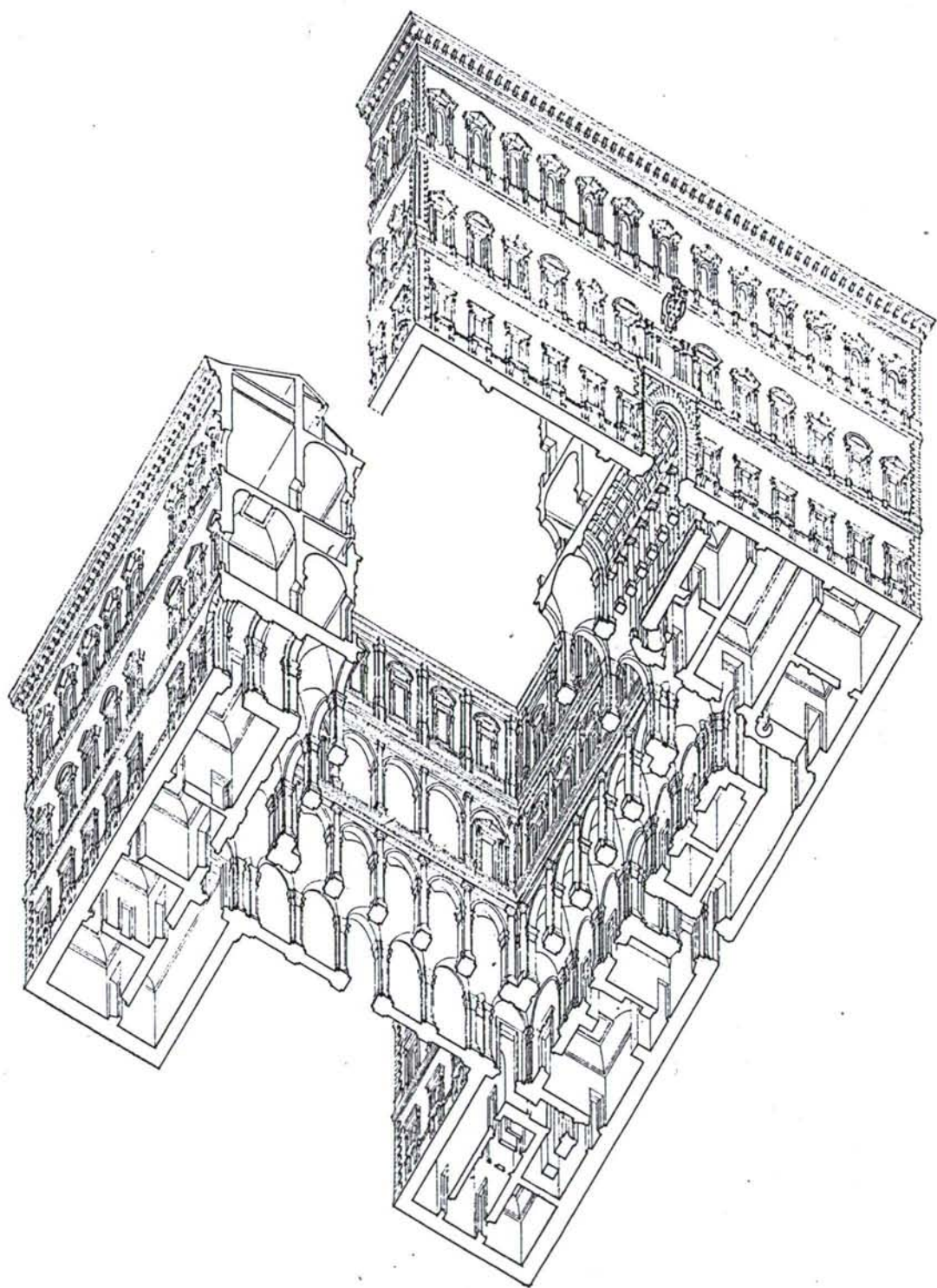
Palacio Rucellai - Florencia -
Mediados siglo XV - Arq. Alberti

LAMINA I. 11



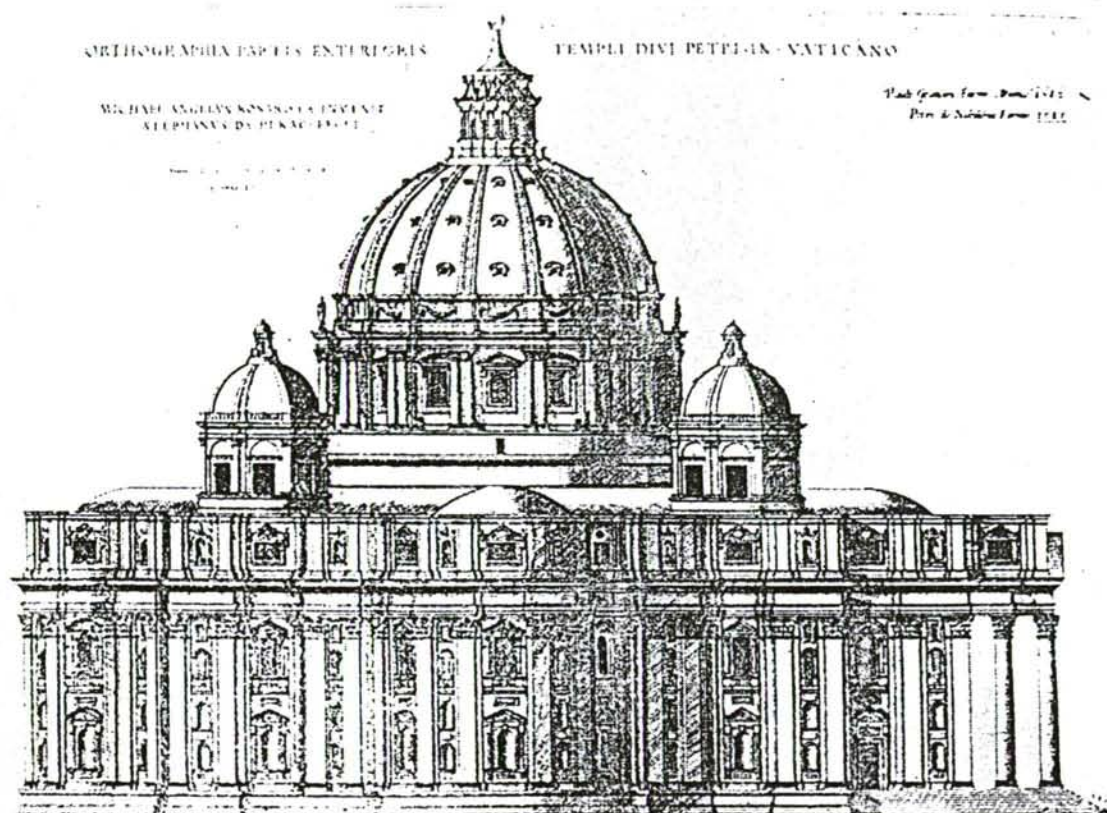
Hospital Mayor "Ca' Granda" en Milán
Mitad siglo XV. Arq. Filarete.

LAMINA I.12

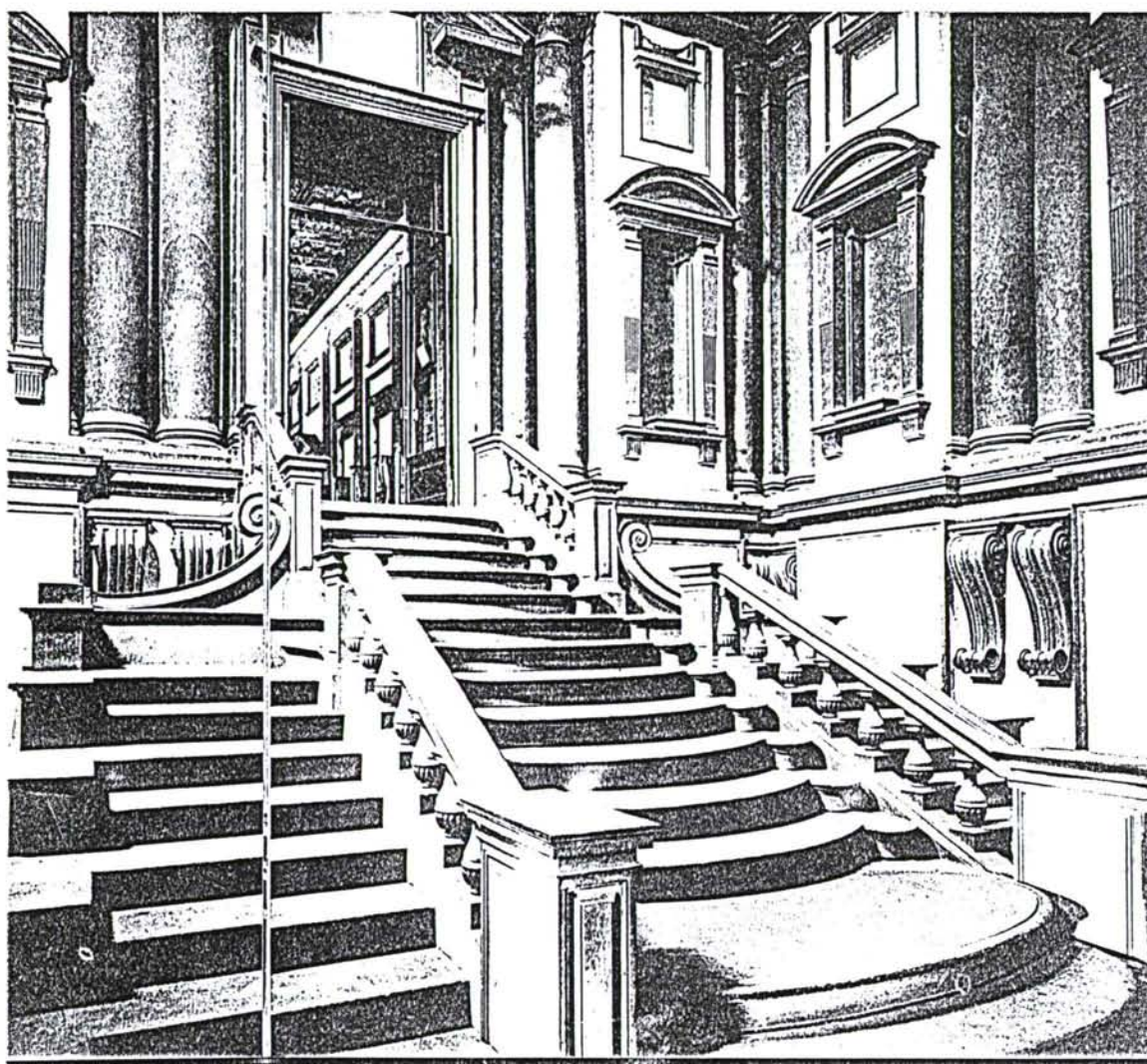


Palazzo Farnese - Roma -
Principios siglo XVI. Arq. Peruzzi.

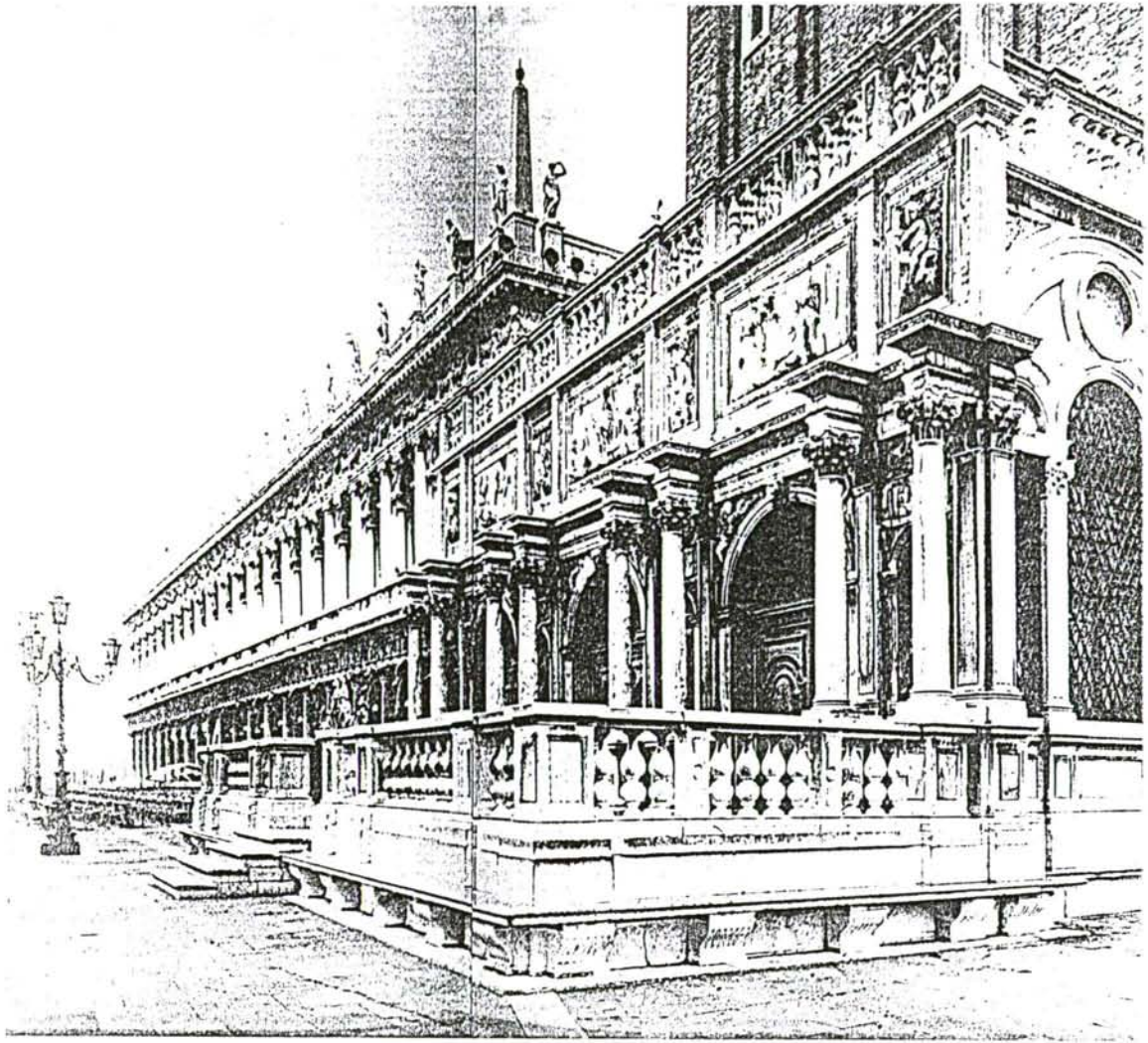
LAMINA I.13



Alzado de San Pedro - Roma - según proyecto de Miguel Angel. Siglo XVI



Escalera del Vestibulo de la Biblioteca Laurenciana - Florencia -
Arq. Miguel Angel, Siglo XVI.



Librería Sansoviniana - Venecia - Siglo XVI.
Arq. Sansovino. (fotog. parte central)

en el Renacimiento, se exponen las teorías de los números. Se destaca como fundamento teórico del tratado, que la "belleza de un edificio es la integración racional de la proporción de todas sus partes, a la que no puede añadirse ni quitarse nada sin destruir la armonía total".

En resumen, la filosofía humanística del Renacimiento irradia a toda la sociedad, en todos los aspectos, económicos, culturales, artísticos y sociales. Desde un punto de vista sinérgico, se había formado un parámetro ordenador, que correlacionaba todas las actividades sociales, dando un espíritu unitario, que en el campo de la arquitectura es manifiesto.

Hemos expuesto hasta aquí, de forma resumida, dos períodos próximos, el Gótico y el Renacimiento, dirigidos cada uno por una filosofía propia creadora de un determinado orden. Entre ambos estados de orden, acontece una transición de fase que, como todas, pone en crisis las ideas del viejo orden, en un sistema dinámico de competición, de tendencias opuestas y cooperación de las afines, hasta alcanzar un punto crítico, donde el caos transitorio se bifurca en una salida que es el nuevo orden.

La transición formal del Gótico al Renacimiento es de ruptura brusca. La nueva arquitectura nada tiene que ver con la anterior.

Vasari mostraba su desprecio denominándola gótica (bárbara).

IDEOLOGIA

Definición

De un modo genérico, se define la ideología como aquella rama de las "ciencias" filosóficas, que tratan del origen y clasificación de las ideas.

En las ideologías, sean del tipo que fueren, siempre subyace algún sistema o idea filosófica.

Por la importancia que en la actividad urbanística y arquitectónica tiene la ideología, creemos conveniente acudir a la fuente de Mario Bunge. En su libro **Seudociencia e ideología**, nos dice el autor :

No hay cultura sin ideologías. Algunas son totales, o sea, versan sobre todo lo pensable, mientras que otras son parciales, p.ej. se limitan al orden social. Casi todas son incompatibles con la ciencia. Algunas obstaculizan el avance cultural y político, al par que otras lo promueven. Pero también las hay mixtas, e.d. mezclas de dogmas anticuados con visiones progresistas. Habitualmente, en toda sociedad domina una ideología o sistema de ideologías, sea por haber sido adoptado por la mayoría, sea por haber sido consagrado por el Estado.

Como sucede en muchos conceptos, sobre todo cuando éstos no son simples, existen desacuerdos en cuanto a una definición de ideología, dependiendo un tanto de la ideología del definidor. Por eso, la de un científico o filósofo de la ciencia nos parece más objetiva.

En su estudio, Mario Bunge propone una definición que a nuestro entender no deja cabos sueltos :

Así como desde el punto de vista gnoseológico, la esencia de la ciencia es la investigación, la de la ideología es la creencia. En efecto, una ideología puede definirse como un **sistema de creencias, en particulares juicios de valor y declaraciones de objetivos.**

Más precisamente, caracterizaremos una ideología como una endecatupla.

$I = \langle C, S, D, G, F, E, P, A, V, O, M \rangle$

en la que en cualquier momento,

- C = la comunidad de creyentes (en particular militantes) en I.
- S = La sociedad que tolera a C, y que los miembros de C se proponen modificar en algún respecto.
- D = El dominio de objetos, reales o imaginarios, que estudian, veneran o manejan los miembros de C en tanto creyentes en I.
- G = La cosmovisión o filosofía adoptada por los miembros de C.
- F = El fondo formal admitido por I.
- E = El fondo de conocimientos fácticos o empíricos que los miembros de C dan por sabidos.
- P = La problemática o colección de problemas, conceptuales o empíricos, que enfrentan a los miembros de C.
- A = El fondo de conocimientos (genuinos o ilusorios) que comparten los miembros de C, e.d. el sistema de creencias características de I.
- V = El sistema de valores que comparten los miembros de C.
- O = Los objetivos de los miembros de C, p.ej. la vida eterna o la reconstrucción de la sociedad S.
- M = Los métodos que adoptan los miembros de C para lograr sus objetivos O.

Esta definición, como conjunto de componentes, tiene la virtud de mostrar tanto el aspecto global como el particular, y todo ello visto como un subsistema más amplio de la sociedad. Este modo de acotar el concepto permite el tratamiento científico de toda la fenomenología inherente al mismo.

Mario Bunge distingue tres tipos de ideología : total, religiosa y sociopolítica.

Ideología total

La ideología total (o global), la define por la endecatupla :

$$IT = < C, S, D, G, F, E, P, A, V, O, M >$$

donde los componentes tienen el mismo significado que en el caso anterior, excepto los que se citan a continuación :

D = La totalidad de objetos reales o imaginarios a que se hace referencia.

G = Una cosmovisión global que abarca la naturaleza y la sociedad y posiblemente también lo sobrenatural.

P = Una colección de problemas, cognoscitivos y prácticos, que ocupan a miembros de C.

V = Una colección de juicios de valor acerca de objetos naturales y sociales y posiblemente también supernaturales.

O = Una colección de objeteivos cognoscitivos, morales y prácticos.

Nos ejemplifica Bunge dos ideologías globales, bien conocidas, como el tomismo y el marxismo, presentadas como cosmovisiones "que pretenden acomodar a todos los hechos y ayudar a alcanzar una gran variedad de metas : culturales, políticas, y otras". Las principales diferencias entre el tomismo y el marxismo no reside en su amplitud, si no en su cometido. Mientras el marxismo es naturalista y, por tanto, secularista, el tomismo es supernaturalista y, cuando ha podido, ha alentado regímenes teocráticos.

Lo mismo le sucede al marxismo, que allí donde se ha implantado, impuso un régimen totalitario.

Ideología religiosa

La ideología religiosa, la define así mismo Bunge a través de sus famosas endecatuplas; de forma similar.

Ideología sociopolítica

Y el tercer tipo de ideología juega en la sociedad un papel de extraordinaria importancia.

Bunge la define así :

"Una ideología sociopolítica" –tal como el liberalismo, el fascismo o el socialismo– puede analizarse como una endecatupla:

IS = < C, S, D, G, F, E, P, A, V, O, M >

en la que en cualquier momento,

C = Partido o club político y sus simpatizantes.

- S = La sociedad en que está incluido C y que los miembros de C se proponen controlar.
- D = La sociedad S y sus subsistemas, y posiblemente también sus supersistemas.
- G = Concepción de la sociedad
- F = Usualmente sólo la lógica intuitiva, potencialmente toda la matemática.
- E = Usualmente sólo conocimientos ordinarios, potencialmente todas las ciencias sociales.
- P = Problemas concernientes a la lucha por la conquista o el mantenimiento del poder, y la administración del estado.
- A = Una colección de hipótesis acerca de la sociedad, así como programas de acción social (p.ej., acerca de cómo impedir la desocupación, o modificar la distribución de la riqueza)
- V = Sistema de valores concernientes a la buena sociedad y a la conducta social correcta.
- O = Conjunto de objetivos a corto, medio y largo plazo.
- M = Conjunto de medios, casi todos prácticos, para alcanzar A.

Dentro de esos tres tipos de ideología cabe además que puedan ser **fundamentalistas**, entendiéndolo así cuando se cristaliza, se rigidiza y no evoluciona,

es decir, cuando irradia un dogmatismo total.

Nos pone Bunge, como ejemplos de ideologías fundamentalistas, algunas sectas no cristianas e islámicas, así como el **liberalismo económico** de Adam Smith, o el **marxismo dogmático**.

Este dogmatismo del fundamentalismo frena el avance de la sociedad, ya que todo está dicho y rechaza de manera categórica aquellos nuevos descubrimientos científicos que potencialmente pongan en peligro su dogma.

Finalmente, Mario Bunge propone una cuarta distinción o matización del tercer tipo de ideología, la sociopolítica, en base a que ésta no es incompatible con la ciencia, como le sucede a las dos primeras.

Ideología científica

Bunge la define así :

"Una ideología sociopolítica científica como la endecatupla:

ISC = < C, S, D, G, F, E, P, A, V, O, M >

donde, en cualquier momento,

C = Partido laico y sus simpatizantes actuantes en la sociedad S.

S = La sociedad en que está incluido C y que los miembros de C se proponen controlar.

D = La sociedad y sus sistemas y supersistemas.

- G = La cosmovisión de la ciencia y, en particular, la concepción general de la sociedad inherente a las ciencias sociales del momento.
- F = Toda la panoplia de las herramientas lógicas y matemáticas utilizables para construir teorías y planes.
- E = La totalidad de las ciencias sociales : antropología, sociología, economía, politología e historia.
- P = Problemas concernientes a la lucha por el poder y a la administración de los sistemas político, económico y cultural.
- A = Una colección de planes de acción social (p.ej., programas sociales) compatibles con G y E.
- V = Un sistema de valores concernientes a la buena sociedad, así como a la conducta social correcta, compatible con F y con E.
- O = Un conjunto de metas a corto, medio y largo plazo compatibles con E.
- M = Un conjunto de medios considerados (a la luz de E) adecuados para alcanzar los objetivos O".

Una ideología de este tipo prescinde del mito y toma como base de su estructuración la ciencia y la tecnología de carácter social, no natural, considerando que la conducta social no se hereda, sino que se aprende. Como apostilla Bunge :

Una ideología científica no es peor ni mejor que una no científica por el solo hecho de ser científica. El que una ideología sea admirable y digna de ser tomada por guía para la acción social depende de que incluya valores, metas y medios admirables. Por consiguiente, en lugar de considerar las ideologías separadamente de otros objetos culturales, debiéramos evaluarlas a la luz de la ciencia social, de la moral, y de los intereses de la mayoría.

Mario Bunge está convencido de que la estructuración de ideologías sociopolíticas científicas son posibles. Afirma que Marx y Engels hicieron el intento de construir una ideología científica, el "socialismo científico", y que no llegaron a su objetivo por adherirse a la dialéctica y al holismo de Hegel, y aislarse de la "ciencia burguesa" de su tiempo. "Para peor, casi todos sus discípulos contribuyeron a momificar ese embrión de ideología científica. Al obrar de esta manera dogmática frustraron el intento de fusionar una ideología con la ciencia".

Consideramos muy interesante una lectura de **Seudociencia e ideología**, del filósofo exacto Mario Bunge, pero antes de terminar este apartado dedicado a la Ideología –que nos será de gran utilidad para ciertos análisis de la arquitectura y el urbanismo donde la ideología sociopolítica tuvo un papel preponderante, sobre todo en la primera mitad de este siglo– quisiéramos citar algunos párrafos que han resultado "proféticos".[La palabra "profético" molestaría a Bunge; el preferiría el término "predicción científica", en este año de 1991 (la obra citada, la publica Alianza Editorial en el año 1985)].

En resolución, el **marxismo ha envejecido mucho** en el curso de un siglo. A fuerza de ser fieles a Marx, los marxistas ortodoxos no han hecho honor al enfoque iconoclasta de Marx. El mejor homenaje que podemos rendirle es seguir su ejemplo de innovador, investigando sin temor a ser tratados de "revisionistas". La revisión permanente es característica de la ciencia, así como el dogmatismo es característico de la seudociencia y de la religión. El marxismo se

está asfixiando en sus propios dogmas, y pronto morirá del todo, a menos que se renueve. (véase en Seehan, 1985, una historia de las numerosas tentativas por rejuvenecer la filosofía marxista, ninguna de las cuales adoptó la ciencia como cartabón).

Más adelante, tenemos que citar el siguiente párrafo, que no tiene desperdicio alguno :

"Sólo una ciencia y una filosofía que se armonicen entre sí y que están de acuerdo con la realidad pueden ayudar a entenderla, así como a construir una sociedad carente de los vicios que aquejan a las sociedades actuales : una sociedad en que la cooperación internacional predomine sobre la rivalidad; en que el individuo pueda desarrollarse plenamente (como lo habían deseado Marx y Engels); en que cada ciudadano participe activamente en la gestión de la cosa pública; en que no haya explotación, pero se mantenga la competencia necesaria para progresar; en el que el consumidor tenga algo que decir; en que haya libertad de crítica; en que la disensión sea respetada y, si lleva razón, premiada. Una sociedad, en suma, equitativa, libre, sin miedo, culta y dinámica. En conclusión, quien no ha pasado por el marxismo, no ha llegado al siglo XIX, pero quien se ha quedado en el marxismo no ha llegado al XX.

El Movimiento Moderno. Un movimiento ideologizado

Si la filosofía escolástica tuvo tanta influencia en la arquitectura gótica, se podría decir también que la ideología sociopolítica progresista la tuvo sobre el denominado Movimiento Moderno de la Arquitectura, concretamente en el nacimiento y consolidación de este movimiento, situando su origen en las primeras décadas de nuestro siglo.

El origen de las bases ideológicas que dieron lugar al M.M., algunos autores

lo sitúan ya en el Renacimiento; inscribe al hombre como protagonista de su historia y toma conciencia de sí mismo, convirtiéndose en creador de su propio destino, capaz de transformar al mundo que le rodea con ayuda de sus descubrimientos científicos.

Otros trasladan ese origen a la época iluminista. Peter Collins es uno de ellos; opina que el origen ideológico del movimiento moderno se produce hacia 1750.

Benévolo traslada la fecha a 1848 en la cual considera cristalizada la sociedad capitalista. Curiosamente coincide con la publicación del Manifiesto Comunista de Marx y Engels.

Pevsner nos acerca más la fecha del nacimiento ideológico que dió origen al movimiento moderno de la arquitectura, situándola en la segunda mitad del siglo pasado, tomando a Wiliam Morris como referencia.

Sea como fuere, la mayoría de los autores coinciden en denominar arquitectura moderna a la tendencia dominante que nace en la primera década de este siglo; tiene su período heroico sobre los años 30 y, en los 60, comienza su estado crítico. La ideología progresista, de cambio social, promoviendo un nuevo modelo de sociedad –con una fuerte tendencia hacia el socialismo tanto democrático como científico– está en la base de las teorías de la arquitectura del Movimiento Moderno. Y esta ideología sociopolítica progresista impregnará los escritos de los intelectuales que, para merecer tal calificativo, (es condición sine quanon), deben ser de izquierdas. No es concebible un intelectual de derechas.

El sistema dinámico arquitectural atraviesa una situación crítica del período que va entre los últimos decenios del siglo XIX y los primeros del XX. La transición de fase tiene un origen anterior, como sucede con todo sistema dinámico abierto.

El estadio de orden anterior a esta transición de fase, corresponde al período **Neoclásico**. Desde 1840 a 1848, este estilo todavía presenta unas coordenadas coherentes.

La revolución social de 1848 conmociona a Europa, en toda la superestructura cultural y política.

Pero con esta revolución, como sucedió con la francesa, no se consolida la nueva sociedad según los principios por los que se lucharon. Así en vez del orden republicano que lógicamente debía instaurarse pasada la revolución, se potencia la suntuosidad propia de los imperios, como son el de Napoleón III en Francia y Francisco José en Austria.

En arquitectura, se desvanece el Neoclásico a partir de 1848. El profesor Fernando Chueca, respecto a las tendencias que siguen a este estilo, en su libro **Electicismo** manifiesta:

Esta arquitectura ya ha resquebrajado por completo el principio rector del estilo y, frente a algo que unifica y resume una tendencia, tanto en el contenido como en la forma, aparecen multitud de trayectorias y de caminos enteramente diversos que no buscan algo nuevo e inédito, todo lo más, de interpretarlas a la manera de cada artista.

Como veremos más adelante al adentrarnos en la Sinérgica, las transiciones de fase comienzan incrementando el número de fluctuaciones. Es como si el orden anterior, cristalizado, recibiera un impacto que le hace saltar en pedazos en todas direcciones. Chueca destaca claramente este hecho, aunque cuando eso escribía todavía era desconocida la Sinérgica.

Este fenómeno de expresar ciertos hechos, que posteriormente los recoge y

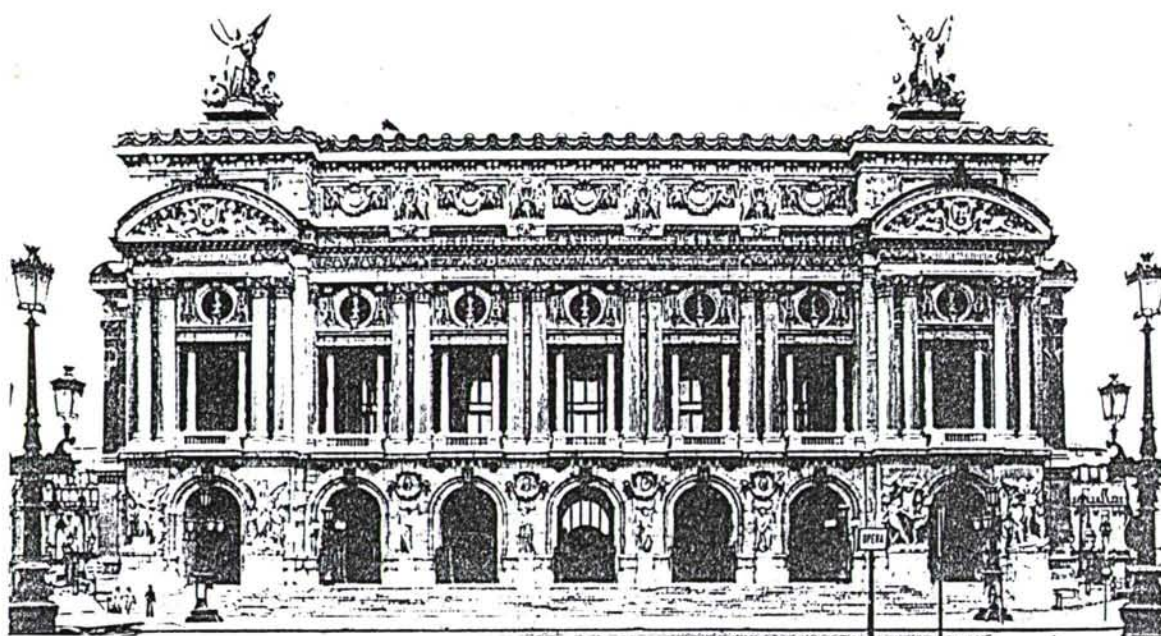
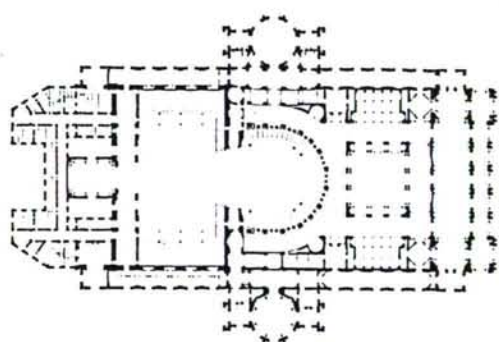
clarifica una nueva disciplina, es muy frecuente en el campo del conocimiento. Ya lo apuntaba Mario Bunge, al hablar de teoría científica, donde ésta organiza, sistematiza y eleva a un rango superior muchos conocimientos dispersos e inconexos.

Continuamos con Chueca :

Lo que desea es ensayar nuevos caminos que a la vez son caminos antiguos. Son caminos que ya se han transitado, pero que se quieren transitar de nuevo y que despiertan el apetito de los artistas que más que nunca tienen una información histórica de lo más extensa. Es decir, la sociedad, las clases dirigentes que sienten el deseo de manifestarse, y los artistas intérpretes de este deseo buscan en los anaqueles de la historia todo aquello que pueda excitar su imaginación, y en un mismo momento, muchas veces en una misma ciudad y frecuentemente por un mismo arquitecto, se construyen iglesias parroquiales del más acentuado goticismo, palacios urbanos del más depurado renacimiento cuatrocentista, castillos residenciales que recuerdan los mejores tiempos del feudalismo medieval y tantas cosas más acumuladas sin una filosofía ni una razón que las justifique.

Estas fases de transición que observamos a través de la historia de la arquitectura, parecen recordarnos el momento actual.

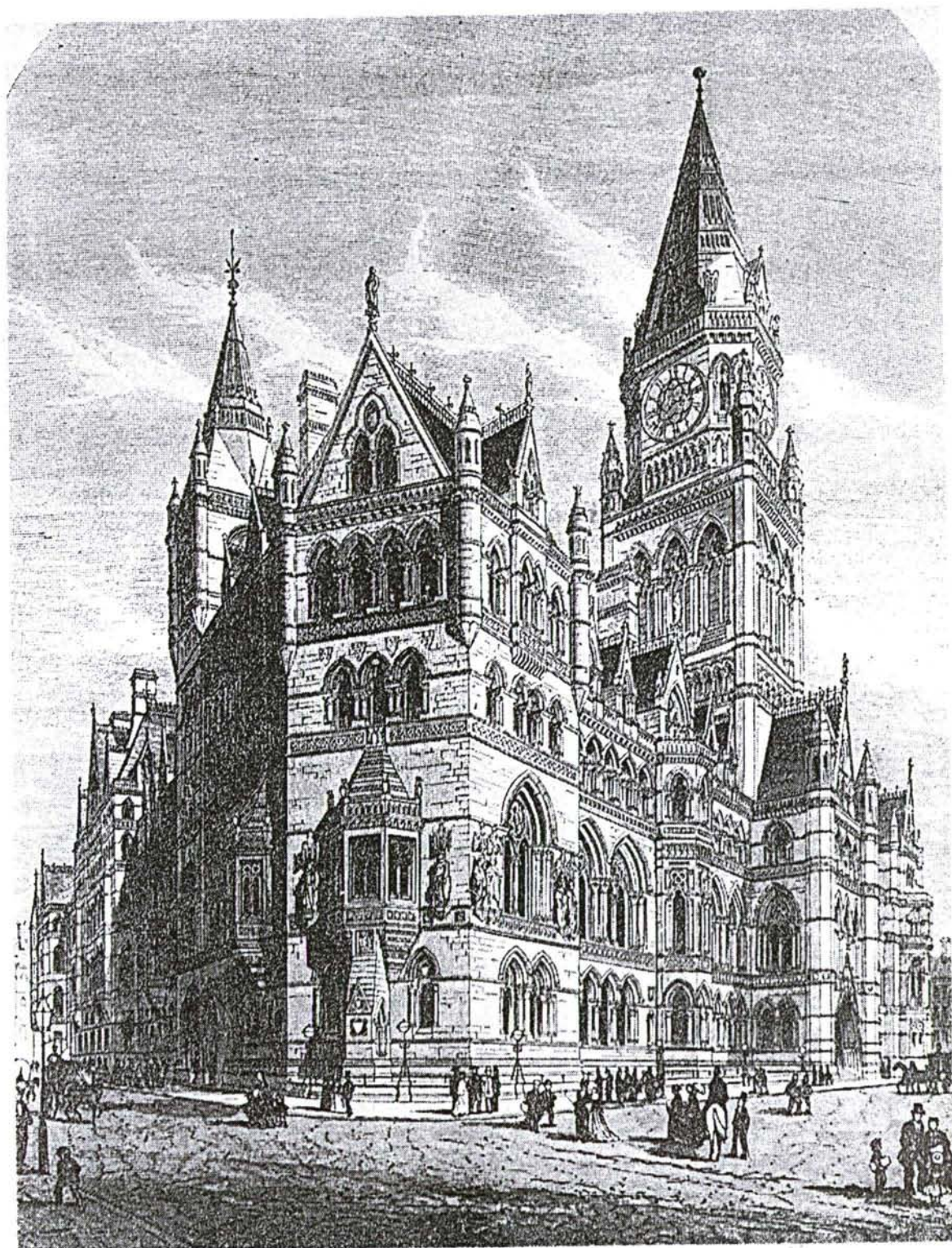
Se pierde una filosofía o ideología dominante, como estructuradora de un orden o, como diríamos en términos sinérgicos, surgen muchos ordenadores que compiten, cooperan, coexisten. No se forma un ordenador sinérgico que "esclavice" a un conjunto amplio de los componentes del sistema; es la evolución del mismo la que, a través de un **orden por fluctuaciones**, amplificará una de las tendencias que correlaciona al sistema, bifurcando la situación de ambigüedad, o caos, a un nuevo estado de orden; colaboran en este hecho todas las fuerzas sociales, culturales, políticas, en las que se encuentra inmerso el sistema dinámico abierto.



Opera - Paris - . 1862 - 1875

Arq. Charles Garnier.

LAMINA I.17



Town Hall - Manchester - .1868

Arq. Alfred Waterhouse.

LAMINA I.18

Como apuntaban en 1840 Tocqueville y Chateaubriand, "el antiguo orden europeo expiraba", y la "imposibilidad del futuro corría el riesgo de suceder a la imposibilidad del pasado", de triunfar la anarquía.

Obreros de toda Europa participaban en la revolución de 1848 en reivindicaciones de tipo político y social. Eran las jornadas revolucionarias de Berlín, Viena y otras capitales y ciudades europeas.

Francia le sigue a Inglaterra en la industrialización, por eso las propuestas francesas tiene un carácter distinto. En el problema obrero durante la monarquía de julio de 1848, como apuntaban los teóricos del socialismo, fuera de Francia significó un "89", con su propio carácter : revolución burguesa, liberal y nacional.

Es importante destacar ciertos hechos que justifican el orden que se establece después de la revolución del 48 : El fracaso sufrido por la izquierda gala en las elecciones de la Constituyente, se quiere resolver en París movilizand o a los obreros de los talleres nacionales contra la Cámara. La reacción de la república no se hizo esperar y de un modo contundente reprime las movilizaciones. Una monarquía no se hubiera atrevido a tanto. El 22 de junio de 1848, se produce un conflicto armado intenso y de corta duración, como consecuencia del cierre de los talleres nacionales. La figura que podía tranquilizar a las distintas clases sociales sería Luis Napoleón Bonaparte. Las elecciones de 1849 dieron como resultado una Cámara abrumadoramente conservadora. Este hecho trasciende al resto de los países europeos, restaurando el orden y abriéndose a la nueva era industrial, que Inglaterra hacía tiempo había iniciado y Francia siguiera después. Con la industrialización aparece un nuevo fenómeno social : el proletariado industrial. No en vano, en el mismo año 1848 Marx y Engels publican el **Manifiesto Comunista**, que al grito de "¡Proletarios de todos los países, uníos!" tomaría dimensiones universales.

Se había pasado del socialismo utópico al socialismo "científico", asumido

con fervor por la clase trabajadora y buen número de intelectuales.

Según Karl Marx, la historia del siglo XIX está dominada por el antagonismo entre la burguesía y proletariado en un sistema social de economía industrial liberal que priva a los asalariados del producto de su trabajo y acumula así más capital, pero éste no podrá evitar las contradicciones internas que lo avocan a su propia destrucción.

La importancia de toda esta fenomenología social se manifestará en la arquitectura y el urbanismo, tanto de la segunda mitad del siglo XIX como en la primera del XX. La polarización capitalismo–socialismo genera unas tensiones que el Movimiento Moderno intentará paliar o agudizar a través de **vanguardias**, para acelerar un proceso de cambio.

Sí parece estar claro que tanto el nacimiento como el desarrollo del Movimiento Moderno está inmerso en un caldo de cultivo alimentado por una ideología sociopolítica progresista; incluso asume no sólo unas articulaciones espaciales determinadas : además, los aspectos formales o expresivos simbolizan en cierto sentido su procedencia social progresista. Que el capitalismo, como sistema económico–social dominante, haya neutralizado la pregnancia simbólica que irradiaba la nueva arquitectura revolucionaria, es cuestión diferente. Este fenómeno, que se puede explicar por distintos caminos desde la Sinérgica, a nuestro entender se muestra más claro cuando se analiza un sistema dinámico abierto, que genera sus "anticuerpos", para absorber y neutralizar las perturbaciones que afectan a su estabilidad. Bien es cierto que existen ciertos estadios de la evolución del sistema en que los "virus" son tan resistentes que ningún antibiótico puede con ellos. Entonces el sistema enferma, muere, y de sus cenizas renace un nuevo orden.

No es la intención de esta tesis hacer unos profundos análisis de cada período de la historia de la arquitectura. Ello además requeriría mucho tiempo y espacio.

Afortunadamente, existe un buen número de interesantes trabajos publicados. Solamente pretendemos exponer muy de pasada, a título de ejemplo, cómo podría encajar un análisis sinérgico que, de acuerdo con leyes científicas de nuevo cuño nos muestre –dentro de lo enmarañado que es un sistema social y, por ende, el arquitectural– la comprensión más meridiana de la evolución de la arquitectura.

Hemos ejemplificado cómo el Gótico mostraba un ordenador sinérgico de tipo filosófico : la escolástica. Luego, el Renacimiento, un nuevo orden que sigue al gótico y otro parámetro ordenador cuasi-filosófico : el humanismo. Entre ambos existe una transición de fase donde se multiplican las tendencias, sobre todo en las ideas.

Dando un salto en el tiempo, nos trasladamos al Movimiento Moderno : otro estado ordenado en el cual ya no existe un ordenador sinérgico de tipo filosófico, sino ideológico.

De un modo fugaz, hemos esbozado la caída del orden anterior: el Neoclásico; se sigue una transición de fase, con una serie de tendencias, algunas de ellas muy nucleadas y radiactivas, como el Eclecticismo, o Historicismo, que prácticamente ocupa la segunda mitad del siglo XIX, siendo una de sus características el monumentalismo. Este período –de muchas tendencias– es confuso. Aparecen los "revivals", especialmente el gótico, al que Inglaterra da un gran impulso. Resurgen en cada país lo autóctono, la tradición, nacionalismos, regionalismos. Período que se inspira sobre todo en la Edad Media, pero también en lo antiguo y lo más próximo, Renacimiento, Barroco,...

La segunda mitad del siglo XIX se llena de tendencias de inspiración histórica. Algunas de ellas muy interesantes.

En Inglaterra, el movimiento Arts and Crafts, fundado en Londres en 1861 por el socialista William Morris, orientado a la construcción y fabricación de

objetos artísticos promueve la artesanía y ataca la tendencia de producción industrial. Su preferencia hacia ciertas formas anuncia el Jugendstil y el Modernismo.

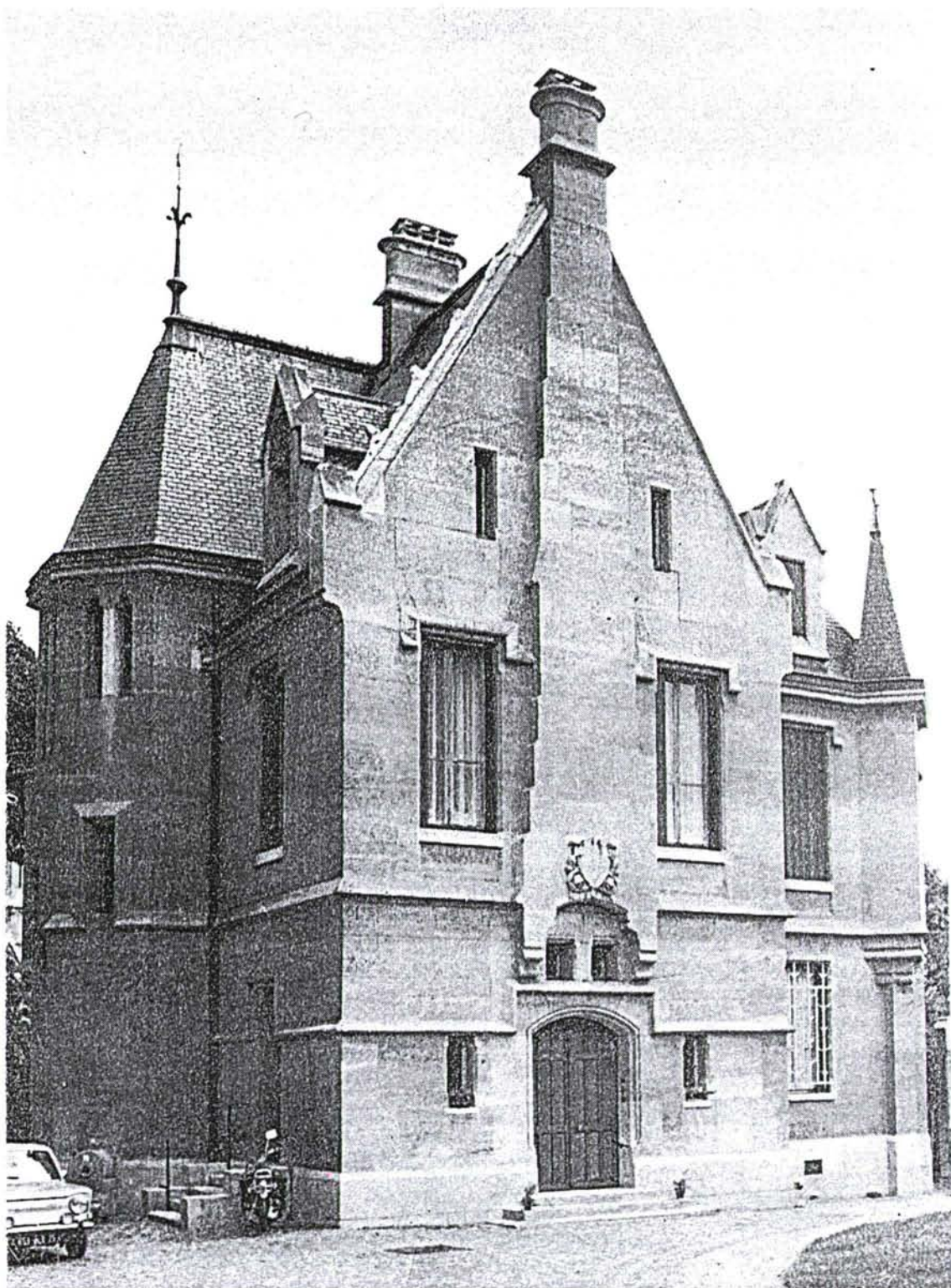
El "art nouveau" nace en Bélgica en la década de 1890, y se extiende a otros países con distinto nombre : Jugendstil, Modern Style, liberty, modernismo. El término "art nouveau" significa novedad, y eso era lo que distinguía a los seguidores.

Mientras, Francia, con el golpe de estado del 2 de diciembre de 1851, convierte en emperador al presidente de la Segunda República, el príncipe Luis Napoleón.

El segundo Imperio se encarga de resaltar una arquitectura que lo simbolice. El barón Haussman será muy activo en este sentido, transformando la trama urbana parisina con bulevares, amplias avenidas y arquitectura monumental.

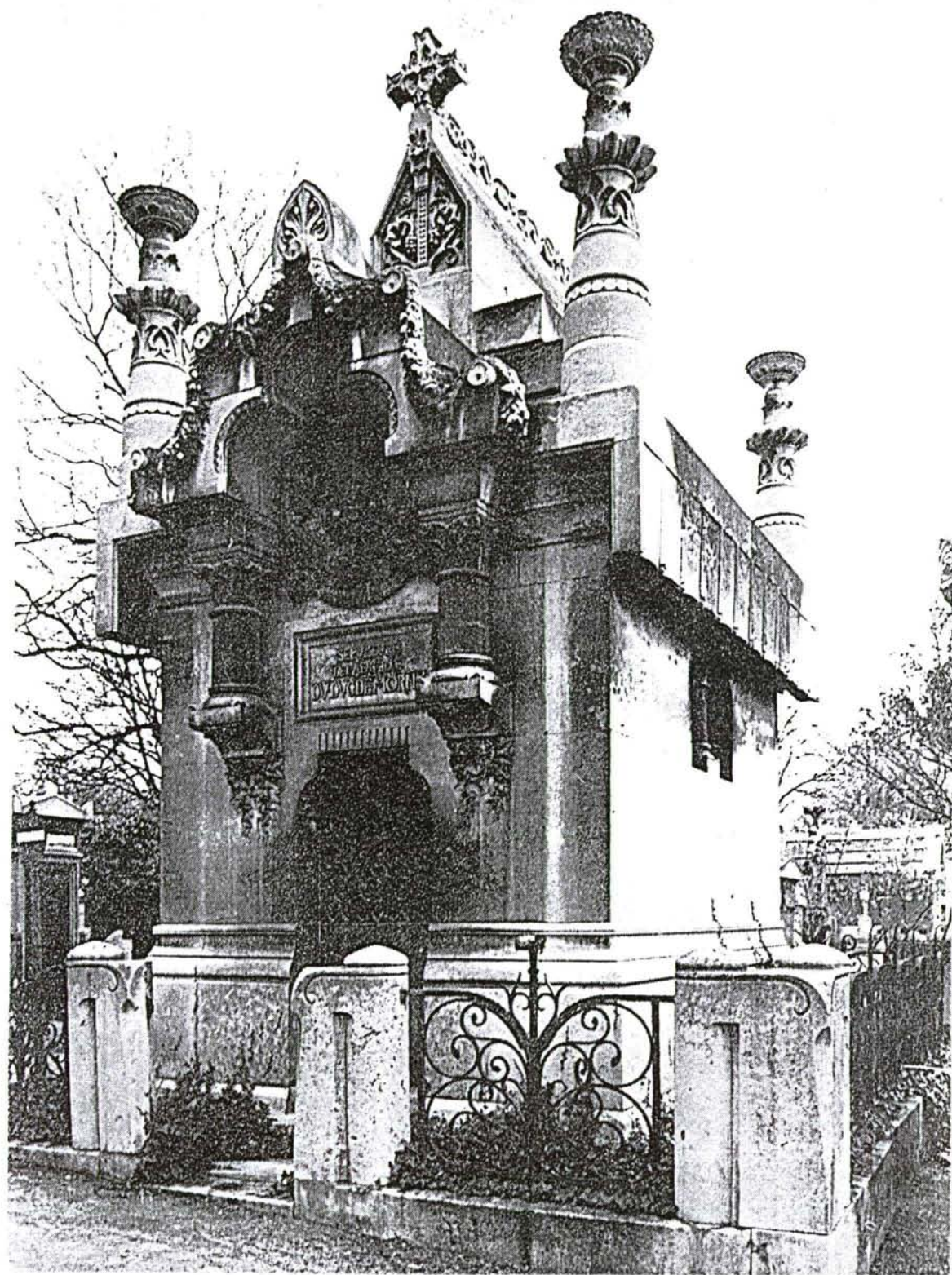
Una figura relevante dentro del eclecticismo francés es Viollet-le-Duc, gran medievalista, especialmente buen conocedor del gótico, restaurador, artista arqueólogo, escritor y, por supuesto, arquitecto inquieto que intenta difundir sus ideas de un racionalismo gótico, en contra de los cánones académicos. Como expresa Chueca :

Hay que reconocer que Viollet-le-Duc se sintió cohibido por sus propias máximas filosóficas. Para él había pasado la época de la gran arquitectura, que pertenecía al pasado. **La arquitectura moderna debía ser sobre todo utilitaria y buscar la mejor adaptación a las necesidades de su destino**, manteniendo la "decoración" dentro de los más estrictos términos. Viollet-le-Duc, era un revolucionario, casi un precursor del funcionalismo, ... (lo subrayado es nuestro).



Casa del Celador de Notre-Dame. - París- 1866
Arq. Eugène Viollet-le Duc

LAMINA I. 19



Tumba del Duque.
Arq. Eugène Viollet-le Duc

LAMINA I. 20

Viollet-le-Duc será una figura muy apreciada por algunos maestros del siglo XX; sus escritos ejercieron una gran influencia, especialmente en los racionalistas.

La primacía de las inquietudes intelectuales, –sociales, artísticas y culturales de la segunda mitad del siglo XIX, se la reparten entre Francia e Inglaterra. Figuras destacadas de este segundo país en el campo teórico son: Augustus W.N. Pugin, John Ruskin y William Morris.

Pugin publica, en 1843, **An Apology for the revival of Cristian Architecture in England**, además de otros libros que difunden el revival gótico. Da una importancia capital a los valores morales, llegando a conclusiones como que la calidad de la arquitectura depende de la talla moral del autor, y también que la arquitectura se debe calificar por "la expresión de su estructura y no en su enmascaramiento con formas prestadas".

Ruskin y Morris recogen la antorcha de los ideales de Pugin. Si bien Morris tuvo una influencia universal a finales del XIX y principios del XX, será Ruskin la figura que destaque sobre las otras dos. Le dio gran renombre la publicación de sus libros. Como señala Chueca : "Sus teorías, expuestas principalmente en sus obras capitales, **Las siete lámparas de la arquitectura** (1848) y **Las piedras de Venecia** (1852), son hoy insostenibles, pero en su época produjeron una gran impresión por su vehemencia y por su magnífica y sonora prosa".

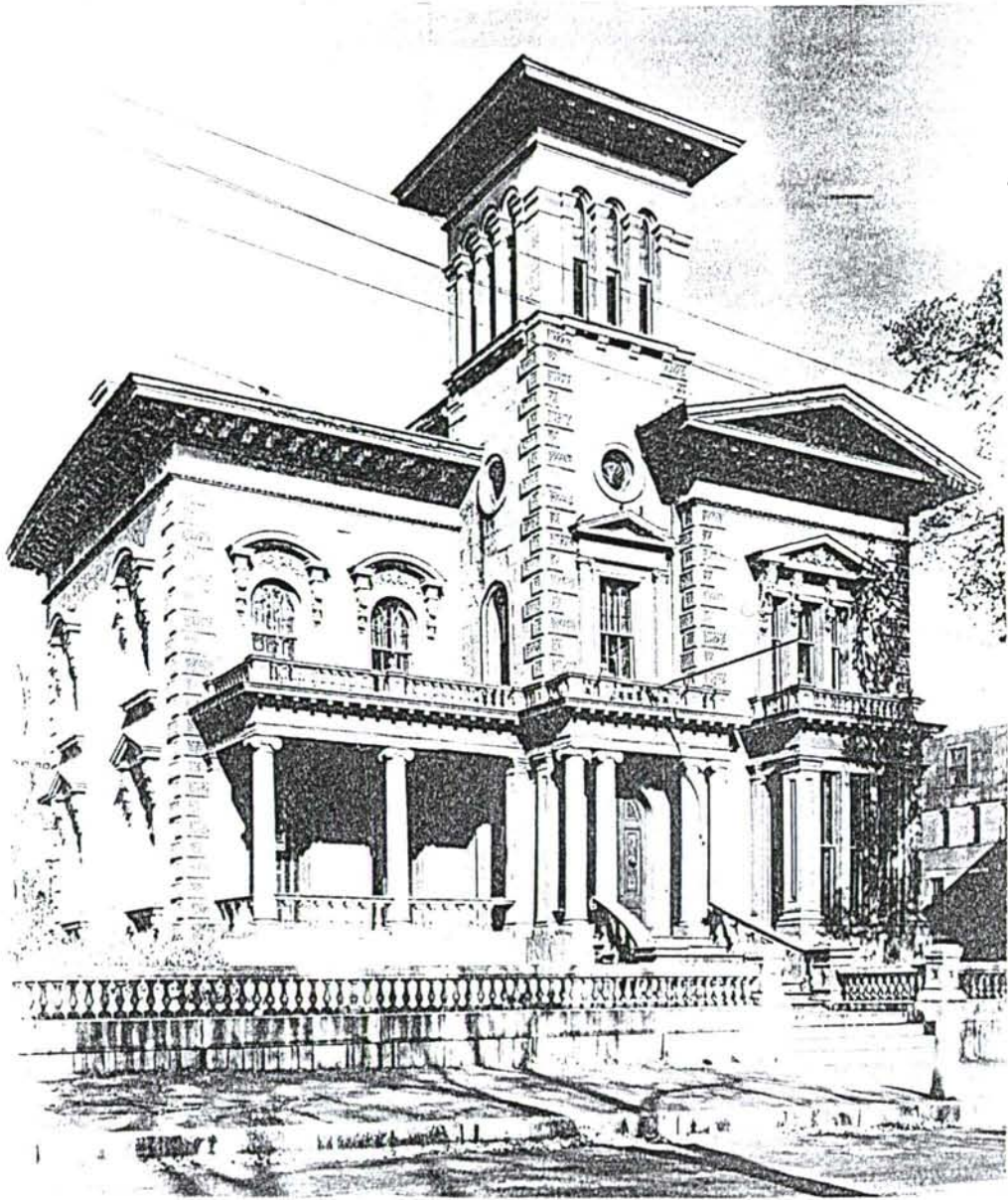
"La arquitectura, como el arte en general, se convirtió para estos hombres (Pugin, Ruskin, Morris) y para los que formaban la Cambridge Camden Society en un movimiento ético y religioso que a la vez era alimentado por las frustraciones de una conciencia culpable ante las inquietudes de la explotación humana en los primeros tiempos de la Revolución Industrial".

Inglaterra abraza con entusiasmo la nueva época victoriana, después de la tranquila y equilibrada época georgiana que había rendido culto a Palladio y que,

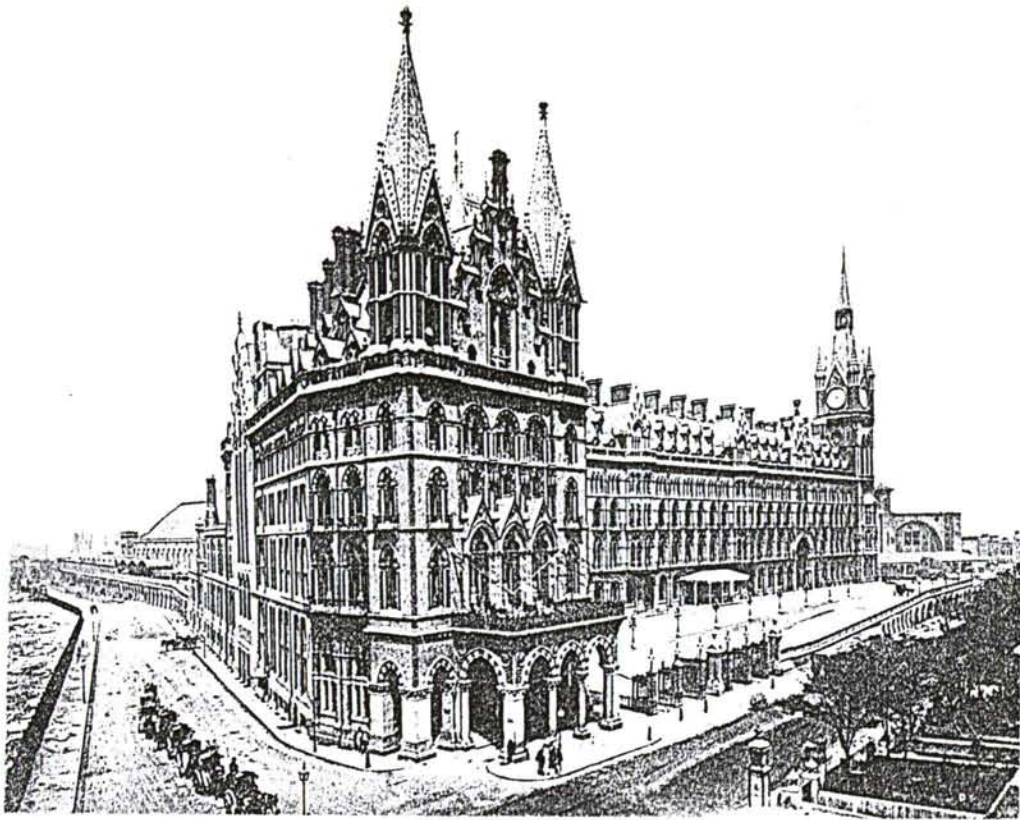
en cierto sentido, les estaba saturando. Inconscientemente, necesitaban sacudir la modorra, el aburrimiento. Un cambio de actitud lleva a los excesos, a buscar nuevos caminos con trazas antiguas. Se produce una explosión de **revivals** e incluso se abren vías a lo exótico. Un cierto clasicismo romántico tiene la atmósfera de la arquitectura inglesa de la época victoriana. Se despierta una pasión por las restauraciones medievales, y ello impulsa nuevas construcciones en una variopinta muestra de estilos donde el "castillismo", como dice Chueca, "satisfacía también los impulsos de una burguesía enriquecida, en un momento que Inglaterra, dominadora del mundo, acumulaba el mayor poder económico de su historia. A la burguesía le gustaba vivir en esos castillos que le recordaban la caballería medieval". Nos interesaba destacar estos hechos de fragmentación de un orden existente, una tendencia dominante que se mantiene un período determinado y luego se ramifica en otras durante un tiempo, para surgir otra tendencia destacada y así **ad infinitum**. La sinérgica, junto con las otras ciencias afines de la complejidad, descubrieron la intermitencia, la secuencia orden-caos en los sistemas dinámicos abiertos con alto grado de complejidad. Detrás de este fenómeno se esconde un enmascaramiento de fuerzas, difícilmente domesticables matemáticamente.

En la arquitectura y el urbanismo, como es sabido, las fuerzas impulsoras son todas las que mueven a la sociedad : económicas, culturales, ideológicas, etc. La arquitectura no se produce en el vacío. De ahí que sea imprescindible para seguirle la pista a una tendencia o conjunto de ellas, analizar todo lo que ocurre en la sociedad. Siendo ésta un sistema, todas sus partes se interrelacionan y lo que ocurra en una, afectará al resto. Como puntualiza Renato de Fusco, en su libro **Historia de la Arquitectura Contemporánea :**

La arquitectura y la urbanística moderna nacen del encuentro de una serie de factores de entre los más típicos de la cultura decimonónica. Muchos autores, con fundados motivos, ven su inicio en el



Casa Morse - Libby en Portland (Maine) - USA - 1859 - 1863
Arq. Heny Austin.



Midland Grand Hotel en la Estación de San Pancracio
-Londres-. 1861
Arq. Sir G. Gilbert Scott.

siglo precedente y hacen coincidir su génesis con la llamada arquitectura del Iluminismo (Boullée y Ledoux), y con el amplio debate teórico del siglo XVIII. Por nuestra parte, aún reconociendo la gran importancia de éstos fenómenos, mantenemos que los **factores causantes de la coyuntura arquitectónica moderna** son el liberalismo, el positivismo, la industrialización, la revolución tecnológica, el socialismo utópico, el marxismo, etc. es decir, todos los aspectos peculiares de la cultura del siglo XIX, de los que hacemos aquí una rápida síntesis".

Es difícil no estar de acuerdo con esta afirmación de De Fusco. Nosotros encontramos su libro muy interesante. La "rápida síntesis" de los aspectos peculiares que menciona en la cita precedente, nos ofrece una visión de conjunto clarificadora. Para no extendernos en cuestiones que consideramos de trascendental importancia, pero que nos desvían en este capítulo del hilo conductor de nuestra tesis, reducimos la síntesis de De Fusco, a un esquema telegráfico :

Liberalismo	: Ideas democráticas, individualismo, libertad económica con escasa intervención estatal, juego espontáneo de la oferta y la demanda, humanitarismo.
Positivismo	: El conocimiento experimental es beneficioso, apoyo de las ciencias fácticas, desarrollo tecnológico, revolución, procesos de producción.
Industrialismo	: Innovaciones técnicas, nuevas máquinas, multiplicar la producción.
Capitalismo	: Producción masiva, economía de consumo, maximizar beneficios de la inversión del capital, propiedad privada, competitividad, expansionismo, multinacionalismo, colonialismo, imperialismo. Ética y postulado económico : todo es lícito, útil y bueno con tal de que se venda.
Burguesía	: Es la clase que asume la ideología del capitalismo industrial. Se ocupa de la industria y comercio.

Posee los medios de producción, clase dominante.

Proletariado : La clase trabajadora, otra protagonista de la revolución industrial, asociacionismo, sindicatos, defensa de intereses, lucha de clases.

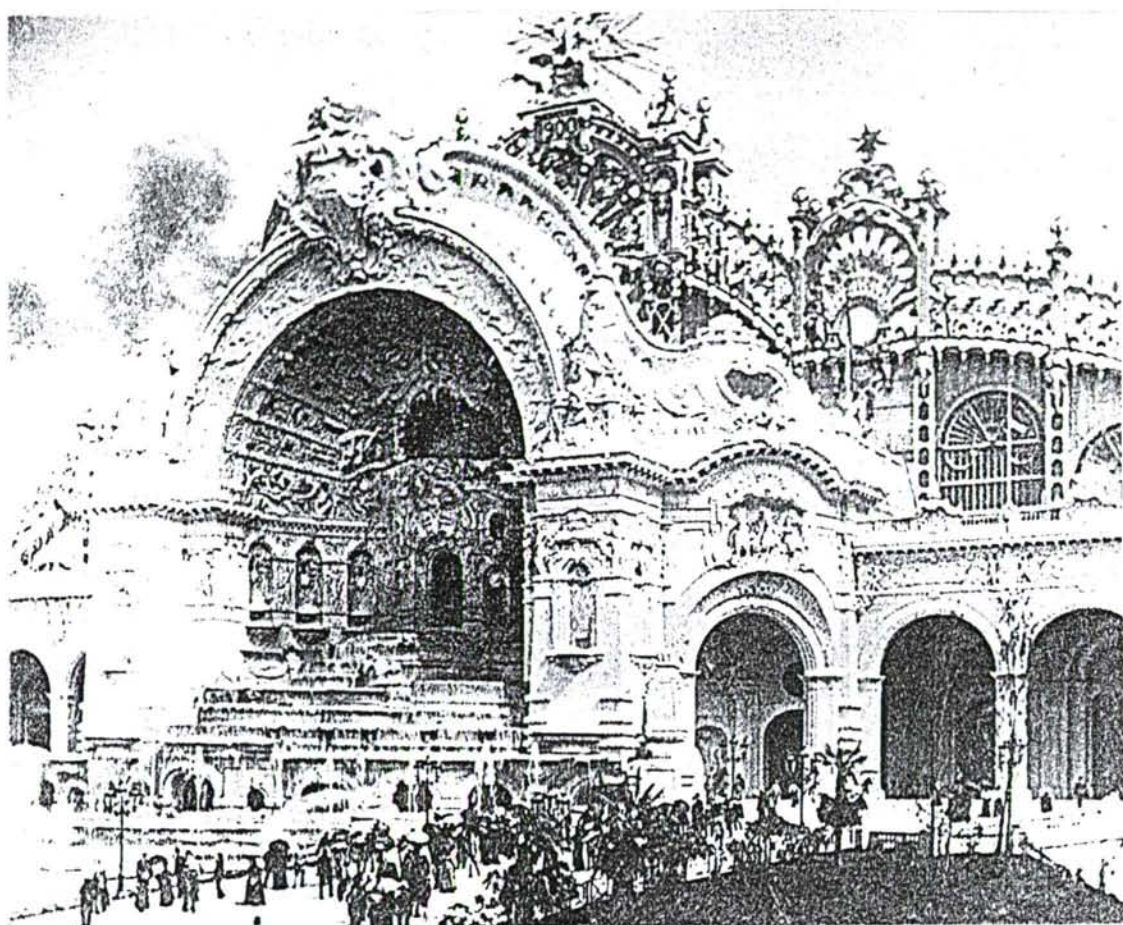
Socialismo utópico : Reformadores sociales; mejora de la calidad de vida de la clase trabajadora, pensamiento utópico; progreso social; Saint-Simón; Leroux, Fourier, Owen, Godin; cooperativismo, organización del trabajo : paralelogramos, falansterios, familisterios.

Socialismo científico (marxismo) : Reformas socialismo utópico; conciencia de clase obrera; concentraciones productivas; Marx y Engels; organización clase obrera según principios del marxismo, organización patronal; lucha de clases; reivindicaciones obreras; el obrero produce plusvalía que absorbe el capitalista en su beneficio, materialismo histórico; materialismo dialéctico.

Reformismo : Acciones reformadoras con fines de progreso social para paliar la pobreza.

Revolución industrial : Innovaciones tecnológicas; nuevo orden económico; laissezfaire: Inglaterra, primer país donde se inicia esta revolución; período aproximadamente de 1750 a 1830; gran repercusión de la arquitectura y urbanismo; mejora de la alimentación, higiene, medicina, incremento demográfico; máquina de vapor de Watt; nueva clase empresarial; incremento producción y consumo; red de comunicaciones; transportes mercancías; inmigración campo-ciudad; teorías económico-liberales; teórico Adam Smith; años 1760-1830, penurias, slums, suburbios proletarios, hacinamiento, epidemias por falta de higiene; críticas a la ciudad industrial; reacciones ciudad-jardín de Ebenezer Howard; marxistas denuncian el problema del alojamiento, la explotación del trabajador, etc.

En la segunda mitad del siglo XIX, la ideología sociopolítica se demarca, polariza e intensifica. El empresariado y el proletariado tienen muy claras sus

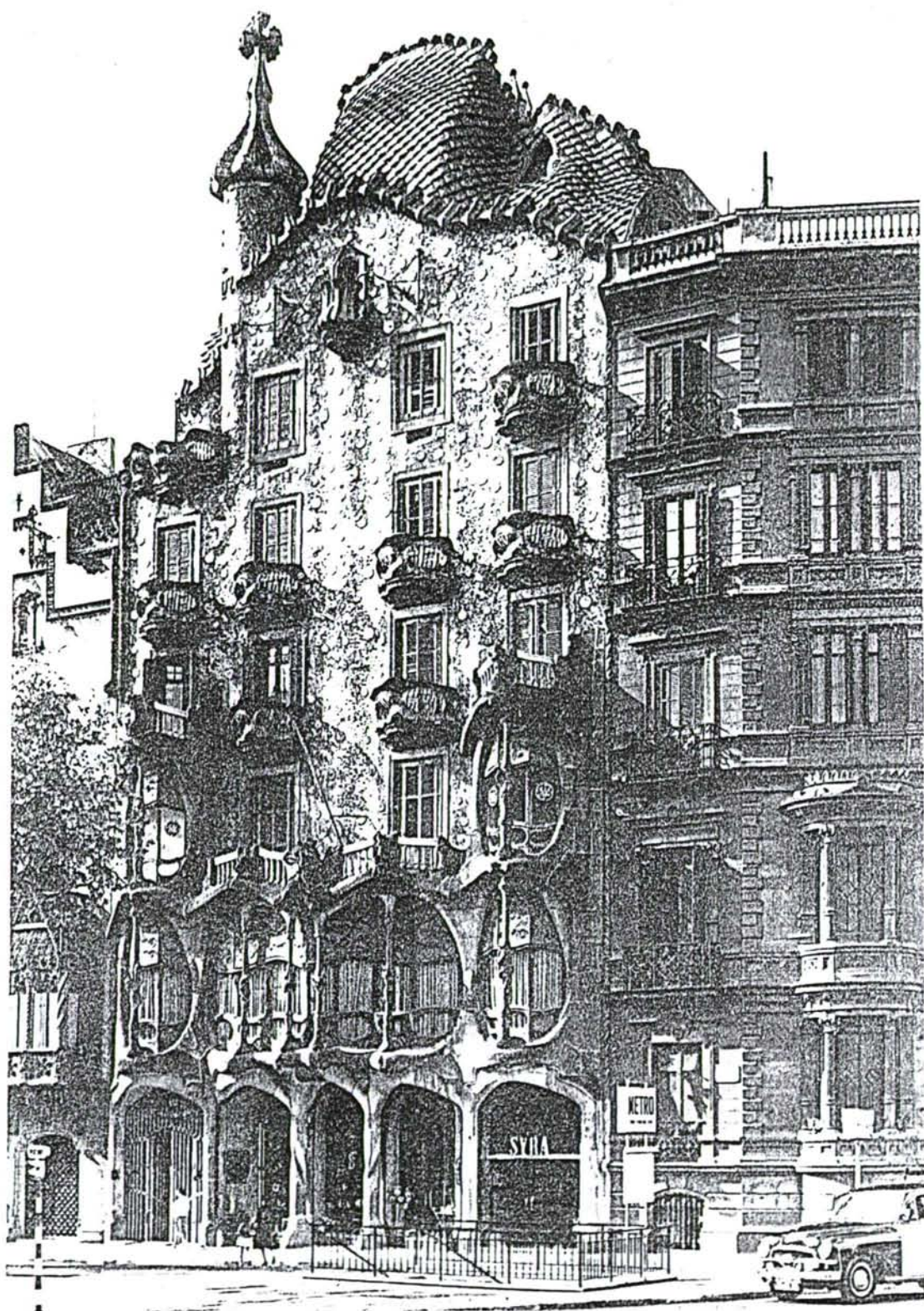


Pabellón "Château d'Eau" en la Exposición de París, 1900
Arq. René Binet.



Hotel Anbecq - Bruselas - 1900

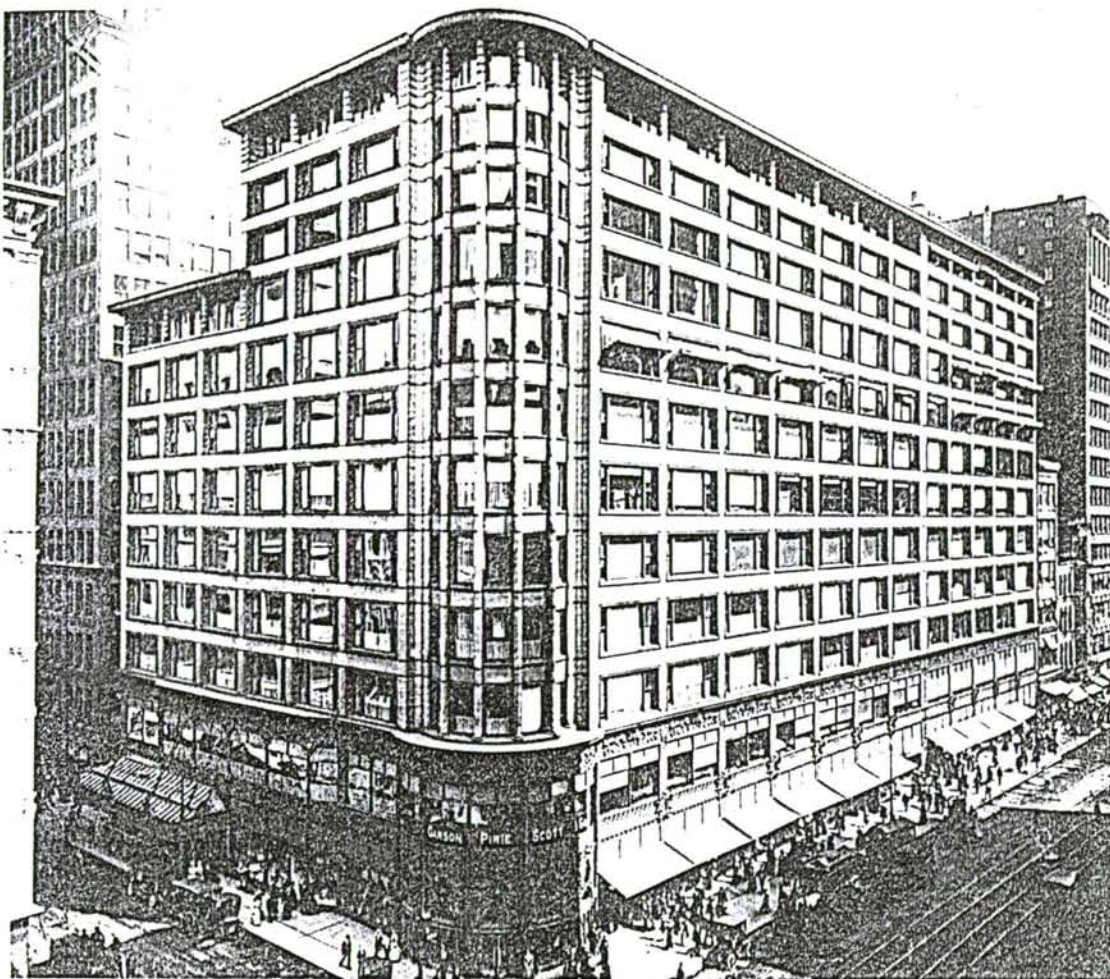
Arq. Víctor Horta



Casa Batlló - Barcelona - 1907

Arq. Antonio Gaudí.

LAMINA I.25



Almacenes "Carson, Pirie and Scott" - Chicago - . 1899 - 1904
Arq. Louis H. Sullivan.

partes de actuación. Más producción, más concentración industrial, implica incrementar el proletariado, y cuanto más concentrado, más se interrelaciona y más se organiza. Se va formando una clase de intelectuales de izquierdas, marxistas, anarquistas y socialistas democráticos.

La chispa salta del continente europeo al americano. La pasión revolucionaria de algunos activistas les lleva a cruzar el océano, como a Joseph Déjacque, autor de **El Humanisferio**, que se distinguió en París, en la revolución de 1848, como rebelde y como poeta social. En la década de los cincuenta, recorre New Orleans, donde la esclavitud de los negros le impulsa a ampliar su volumen de poesías *Les Lazaréennes* (1875). En New York crea ilusionado un periódico, el **Libertaire**, y en él publica su *Humanisferio*, sufragando la publicación con las contribuciones que obtenía como empapelador y pintor de brocha gorda.

En Estados Unidos, en la segunda mitad del XIX, en ciudades tan industrializadas como New York y Chicago, se forma un proletariado organizado y reivindicativo que asume los aires europeos del marxismo y anarquismo.

También el arquitecto vienés Adolf Loos, antes de terminar el siglo, en 1893, recorre Estados Unidos. Le servirá para importar a Europa, tres años más tarde, un nuevo aire, al revés de lo que hizo Déjacque, en sentido contrario, pero de modo igualmente revolucionario. Entra en contacto con la Escuela de Chicago, admira la obra de Sullivan. Un artículo de éste, escrito en 1892, titulado **Ornament in Architecture**, parece ser que impactó a Loos. Decía Sullivan en ese artículo :

Sería deseable renunciar completamente durante unos años a toda decoración. para que nuestro pensamiento pudiera concentrarse en la construcción de obras que impresionen sólo por su desnudez.

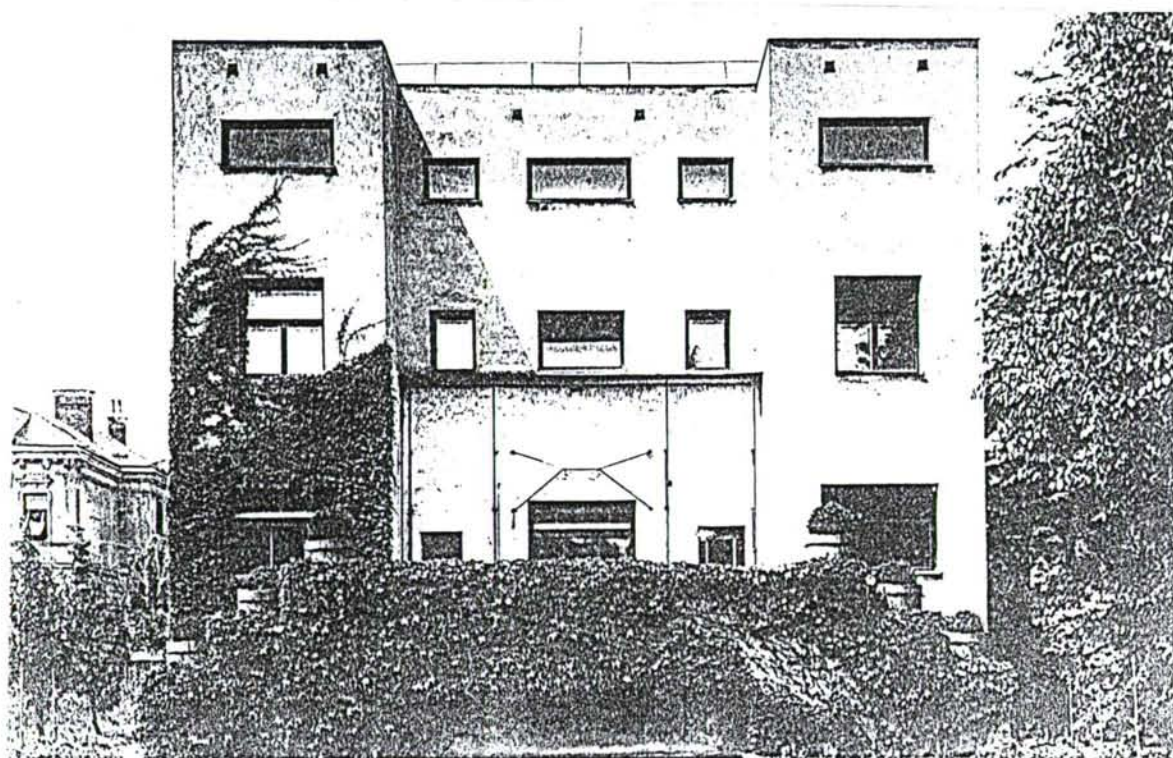
Conociendo la obra de Loos y su célebre publicación **Ornamento y crimen** (1908) resulta incuestionable la fuerte influencia recibida de Sullivan. Después de pasar tres años en Estados Unidos, regresa a Viena, donde se establece en 1896. En esta ciudad publica artículos atacando con dureza todo lo que suponga ornamentación. La Secesión no se libra de ello. Resumiendo, para Loos la ornamentación era detestable; la belleza de una obra residía en la pureza de sus volúmenes y superficies desnudas. El ornamento, para él, era un claro exponente de una mentalidad burguesa.

La **casa Steiner** (Viena, 1910) recoge las teorías de Loos : Pureza de volúmenes, ausencia de ornamentación, concepción clara de la distribución, desniveles perfectamente articulados y reflejados en la fachada, azotea, ventanas de distintos tamaños, apaisadas las superiores, que expresan una organización interior de ambientes diferentes. Es una de las primeras casas construídas con hormigón armado.

La casa Steiner se considera, por su concepción y lenguaje, como un punto de partida de la arquitectura moderna. Como expresa de Fusco :

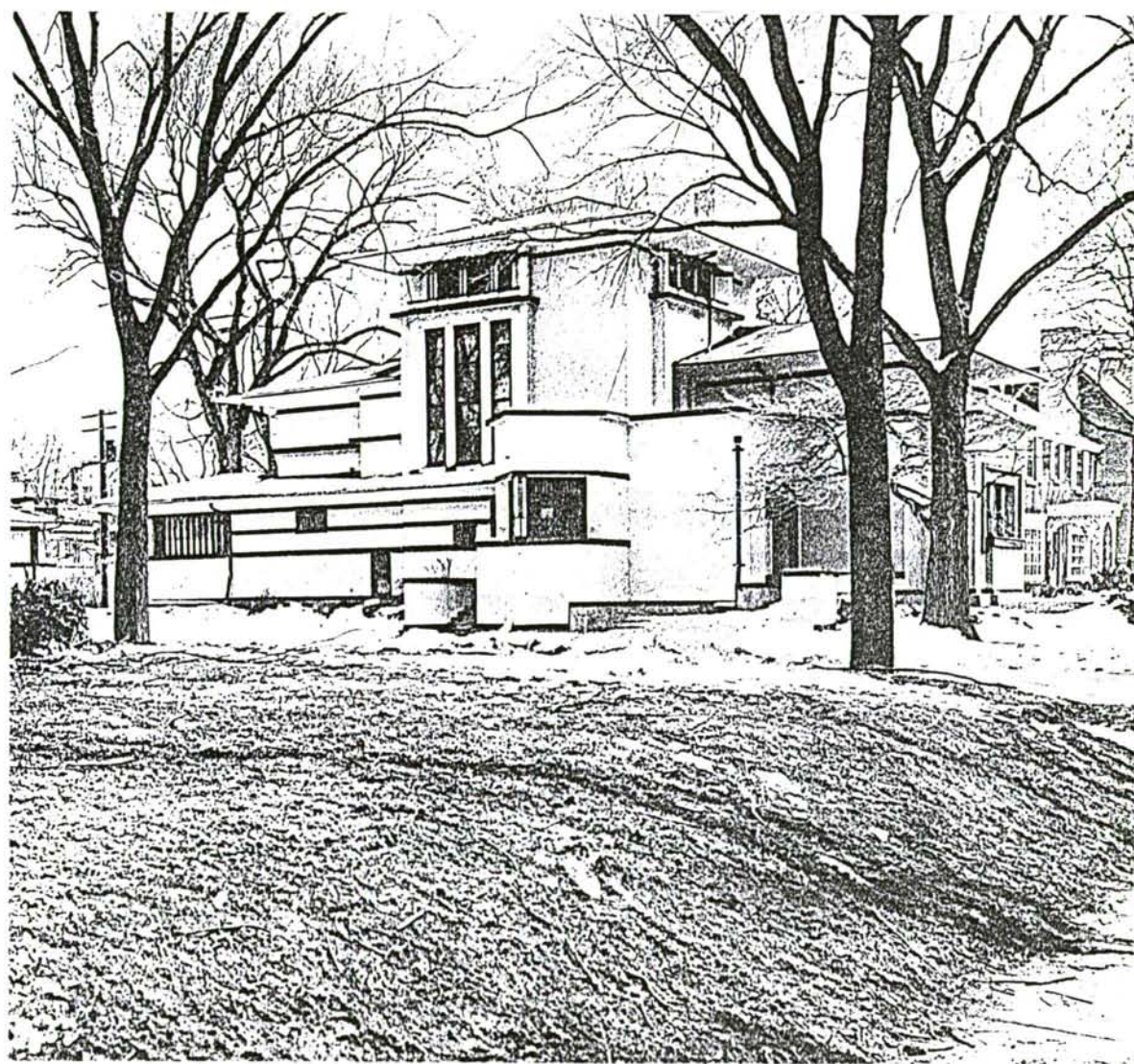
Representa sobre todo una obra-manifiesto de la política del arquitecto austríaco; es lo que encarna más al pie de la letra su teoría. Sin duda, la famosa fachada del jardín es una concesión a la "belleza" del gusto neoclásico propio del código-estilo del protorracionalismo, pero las laterales comunican ya, como se ha dicho, el principio del **Raumplan**, y la fachada principal, decididamente "fea" con un techo de lámina curva, podía concebirse, quizá polémica y demostrativamente, por un arquitecto que excluía la arquitectura del conjunto de las artes por el hecho mismo de resolver una función. En suma, la casa Steiner, además de las teorías de Loos, contiene casi todos los aspectos positivos y negativos de un planteamiento que, compartido o no, marca un giro en la propia idea de la arquitectura.

Con los comienzos del siglo XX se inician, asimismo, muchas revoluciones



Casa Steiner - Viena - 1911

Arq. Adolf Loos.



Fricke House , Oak Park . - Chicago - . 1902

Arq. Frank Lloyd Wright.

para la humanidad. En las ciencias se había descubierto a finales del siglo pasado que el átomo no era indivisible; las geometrías no euclidianas ya no son una entelequia sin aplicación alguna; Einstein tuvo que utilizarlas en su revolucionaria teoría de la relatividad, la espacial formulada en 1905, y desarrolla la teoría de los quanta que en 1900 había iniciado Max Planck. En la técnica, navegación aérea del conde Zeppelin, Marconi lleva a cabo la transmisión trasatlántica a través de su invento de la telegrafía sin hilos; en biología, Boveri descubre la función de los cromosomas como transmisores de la herencia, etc. En las artes sucede igual. Modos revolucionarios de concebir la pintura, la escultura, literatura, música.

Después del imperialismo del último cuarto del pasado siglo, la pintura inicia el nuevo siglo con las famosas **vanguardias**, que buscan un arte puro y un compromiso social, progresista; de ahí que figuren adscritas a la izquierda política. Las vanguardias, como su nombre indica, intentan anticiparse al futuro, para lo cual necesitan romper moldes. La sociedad está dormida y manipulada, es necesario abrirle los ojos y dinamizarla. Se multiplican los "ismos" : cubismo, simbolismo, fauvismo, expresionismo, purismo, futurismo, neoplasticismo, dadaísmo, suprematismo, constructivismo. En los períodos de cambio o transición de fase, el sistema social se encuentra en un estado más tensionado. Las fluctuaciones se vuelven más sensibles, con mayor correlación entre ellas, como demuestra la sinérgica. De ahí que en las primeras décadas de nuestro siglo, de inestabilidad manifiesta, (Primera Guerra Mundial, Revolución Rusa,...) .se agudicen las correlaciones. Las influencias mutuas de una a otra disciplina, no se dejan esperar. Es como un efecto de resonancia. Revolución en las ciencias, en las artes, en la historia de la sociedad,... Del **cubismo** se dijo muchas veces que tenía una cierta inspiración en la teoría de la relatividad de Einstein : El tiempo, como cuarta dimensión del universo. Si fuera posible situarse en una cuarta dimensión, se podrían ver las otras tres de modo simultáneo, la parte anterior y la posterior, de igual modo que cuando uno está situado en la tercera, se dominan por completo las otras dos. Así, en el cubismo encontramos la descomposición del objeto representado como integrado en un único punto de vista.

Cubismo, expresionismo, purismo, constructivismo, y los otros ismos, se relacionan también con las vanguardias arquitectónicas, contribuyendo todo ello al desarrollo, a la cristalización del Movimiento Moderno.

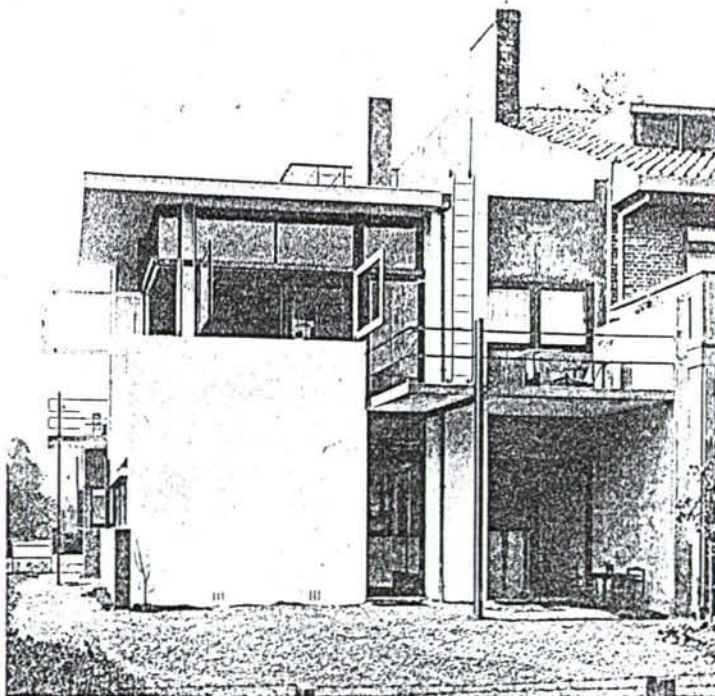
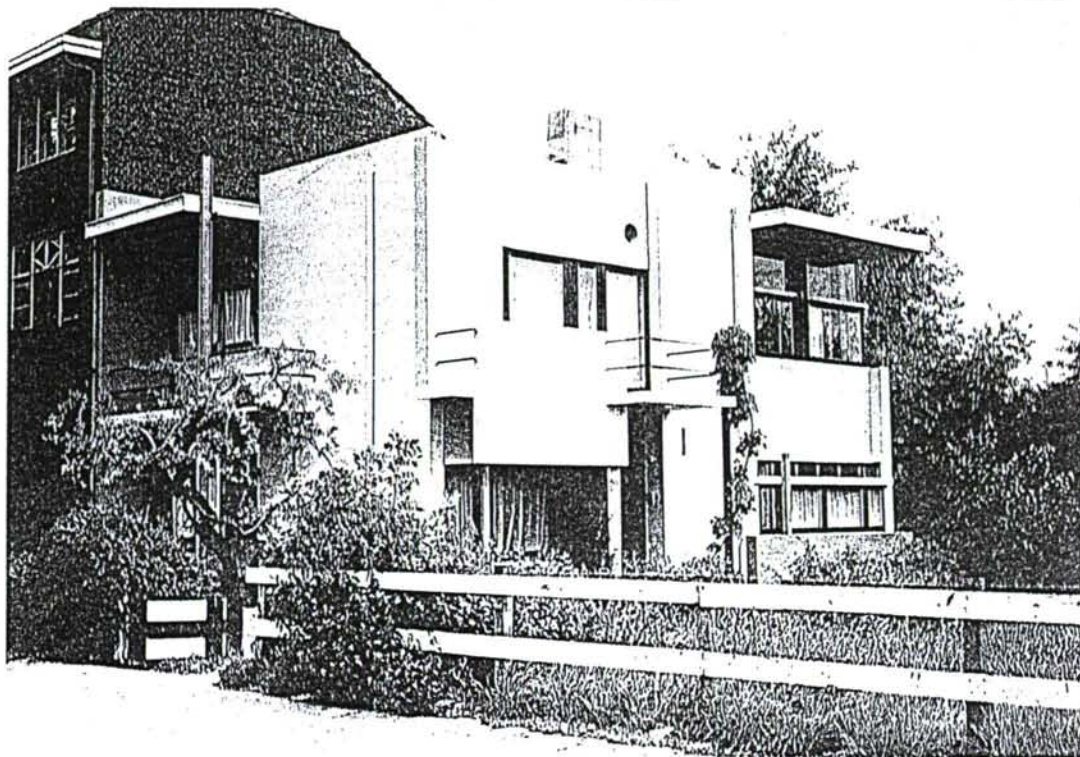
La Revolución Rusa abre todas sus esperanzas a la clase trabajadora mundial. Se organizan células comunistas, Las tensiones de la lucha de clases dentro de una sociedad polarizada refuerzan las posturas de patronos y trabajadores. Los intelectuales no permanecen impasibles y la "movida" cultural trasciende a toda la sociedad.

En Alemania, en 1919, el arquitecto Walter Gropius funda la escuela de diseño Bauhaus, en Weimar. Gropius, con inquietudes humanísticas, es socialdemócrata e intenta convertir la Escuela en un auténtico centro pedagógico que cumpla el ciclo completo de la enseñanza. Se consideraba fundamental la formación en los **talleres**, funcionaban como comunidades de trabajo, con dos niveles de actividad; una exterior, de relación con el mundo circundante, tanto en la actividad artesanal como en la venta de sus productos, y otra interior, donde la actividad de aprendizaje y producción se completaba con todo tipo de actos sociales y culturales.

Gropius, vanguardista, canaliza hacia la arquitectura las diversas actividades artísticas y técnicas que se imponen en la Escuela.

Varios historiadores de la arquitectura destacan del programa de Bauhaus, el célebre párrafo :

Concibamos y creamos juntos el nuevo edificio del nuevo edificio del futuro, que agrupará la arquitectura, la pintura y la escultura en una sola unidad, y que las manos de millones de trabajadores elevarán un día hacia el cielo como símbolo de la cristalización de una nueva fe.



Casa Schröder, Utrecht. -Holanda- . 1924
Arq. Gerrit Rietveld.



Casas para obreros, Pessac. - Burdeos - . 1925
Arqts. Le Corbusier y Pierre Jeanneret.

La nueva fe : una sociedad con igualdad de oportunidades, justa y libre, que los socialdemócratas reclaman, pero que otros, los marxistas, reclaman más : e igualitaria. Meyer, comunista, sucede a Gropius en la dirección de la escuela en el año 1928. Corresponde al período de Dessau, que, como afirma De Fusco :

Se convierte en el centro internacional más activo del Movimiento Moderno.

El Racionalismo queda consolidado : Las publicaciones de Le Corbusier, gran difusor de la nueva tendencia y la presión de las vanguardias, la Bauhaus pero, por encima de todo, como aglutinante, **la ideología sociopolítica progresista**. Esta ideología da unidad, o fe, como decía en el programa de la Bauhaus; ya desde la segunda mitad del siglo pasado se venía abriendo paso, ilusionando, a la mayor parte de la humanidad desheredada. Esta ilusión había contagiado a muchos intelectuales, artistas, científicos y arquitectos. Se **imponía la racionalidad**, si se quería proveer el alojamiento necesario. Habría que industrializar, estandarizar, ¡fuera el ornamento, es un crimen encarecer la vivienda cuando tantos carecen de ella!. Es necesario replantearse de nuevo todas las cosas para una nueva sociedad. ¡Partamos de cero! ¿La historia? ¡saltémosla! hasta ahora nunca se han hecho las cosas bien, dicen los dadaístas, que arremeten contra un arte encerrado en los museos. La utilidad, la función, ¡ved los productos industriales! dice Le Corbusier, no tienen nada en exceso. Un avión, un barco, un coche. Todo perfectamente diseñado. Expresando su función, su utilidad, nos inundan de belleza. Vivienda mínima, vivienda obrera, vivienda de bajo costo. ¡La racionalidad! Sobre todo racionalismo económico.

Nueva tecnología, nueva sociedad, implican nueva arquitectura y nuevo urbanismo.

En efecto, la fe en una ideología social, potente, creíble, aunque no ideología científica como muy bien demuestra Mario Bunge en su libro **Seudociencia e Ideología**, quien dice y ya lo citamos antes :

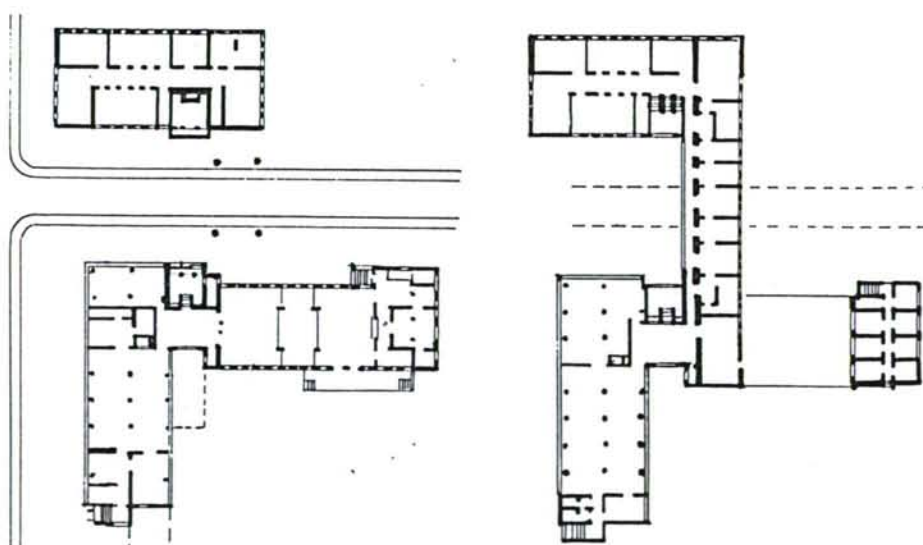
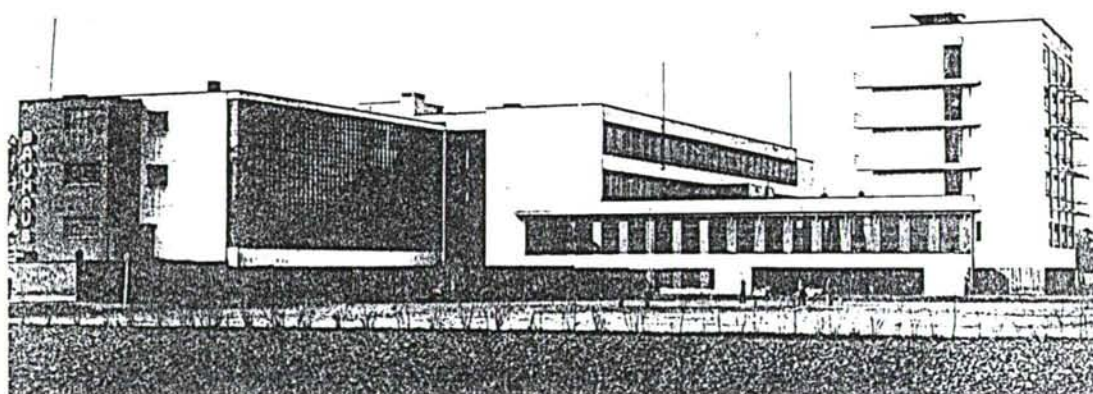
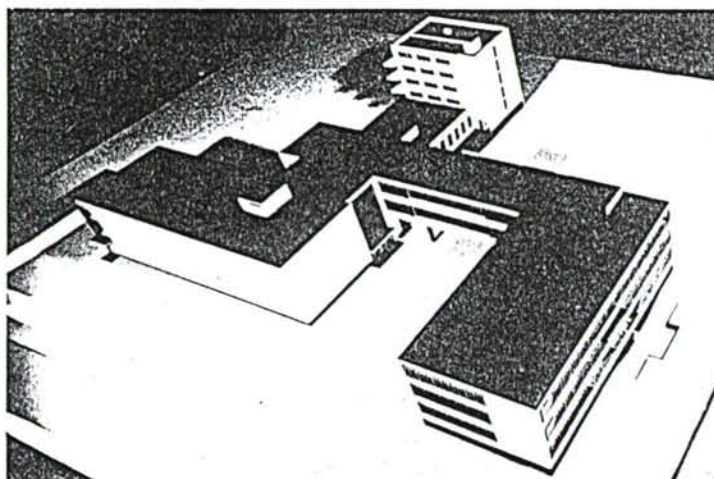
quien no ha pasado por el marxismo no ha llegado al siglo XIX,
pero quien se ha quedado en el marxismo no ha llegado al XX.

deja bien claro que fue un ciclo vital necesario para la humanidad más avanzada. Los tiempos que corren parecen demostrarlo.

En el aspecto de la influencia de la ideología en la arquitectura, se podría afirmar que, en cierto sentido, aparte de otras muchas influencias, juega un papel preponderante, pero quizás no se haya manifestado históricamente de un modo tan evidente como en el denominado Movimiento Moderno. Tanto es así que aspectos dogmáticos de la ideología, tomados como moralizantes, se isomorfizaron en la arquitectura y el urbanismo.

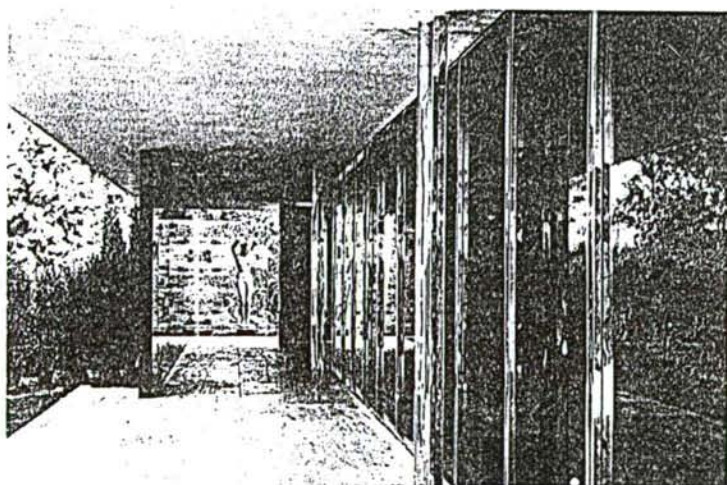
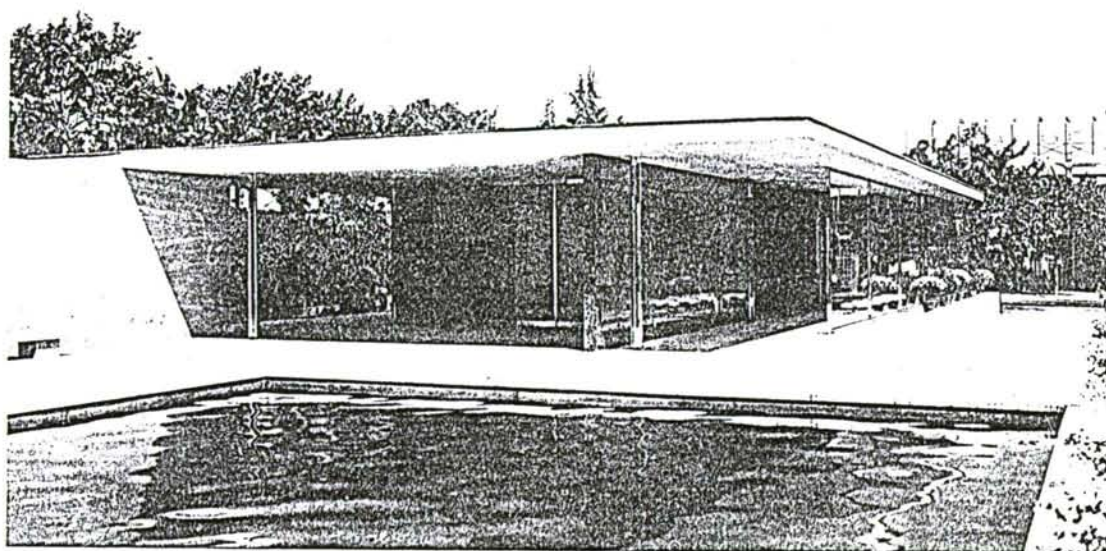
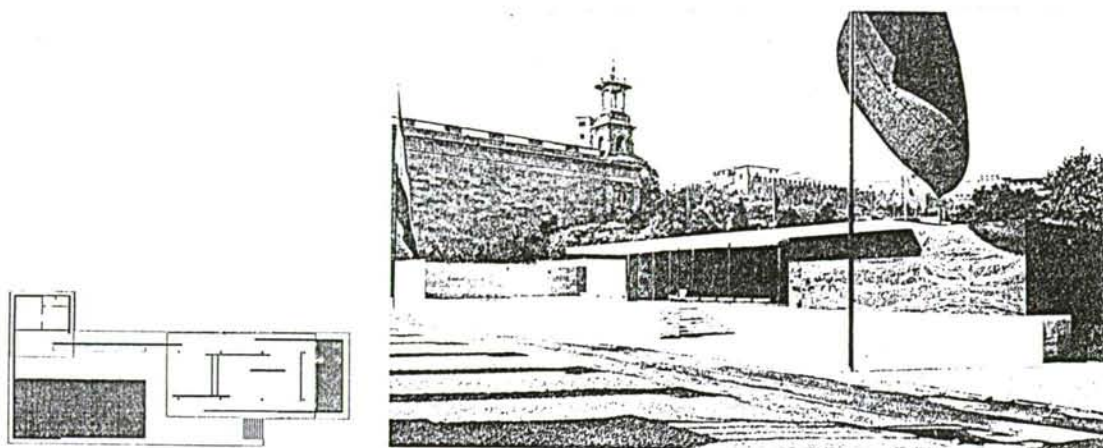
Los filósofos de la ciencia y el propio sentido común nos hablan de lo pernicioso que resulta para el progreso las actitudes dogmáticas. He ahí la paradoja: Una arquitectura moderna, que se tilda de progresista hasta el punto que algunos teóricos afirmaban que se podía transformar la sociedad revolucionaria y que sin embargo, en muchos sentidos, se dogmatiza, hablando de herejías cuando se producen desviaciones de sus preceptos.

En la naturaleza, también en la sociedad, los ciclos vitales son leyes eternas. Las nuevas teorías de la evolución, la denominada **evolución sintética**; no perdona a los que todavía no se han puesto a este nivel. Los científicos hace tiempo que lo tienen asumido. Saben que las teorías, en el fondo, son siempre de carácter provisional. Que más tarde o más temprano son refutadas, y lo que era una teoría que lo explicaba todo, es válida luego para explicar un campo más



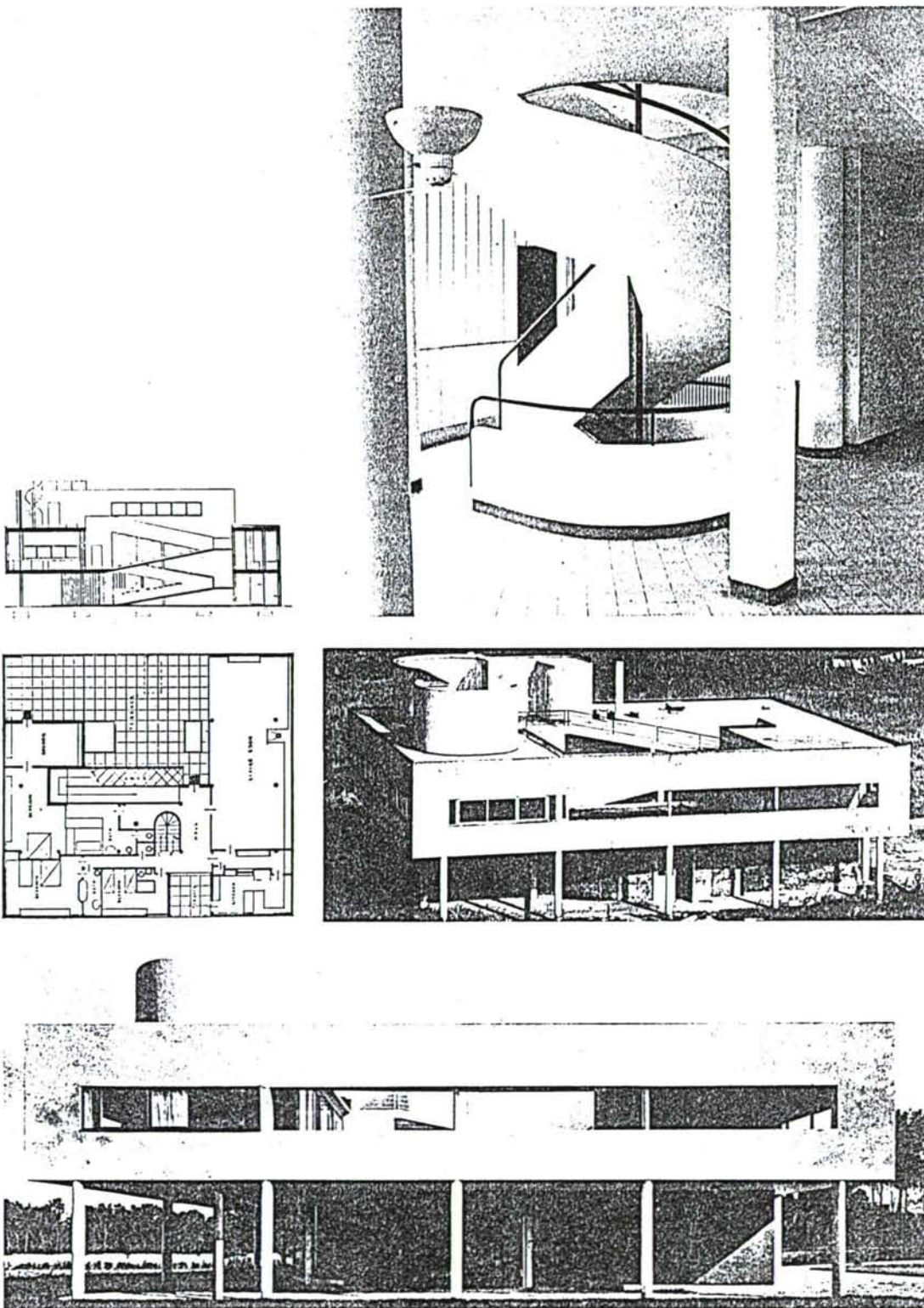
El Bauhaus, Dessau. -Alemania-. 1925 - 1926
Arq. Walter Gropius.

LAMINA I.31



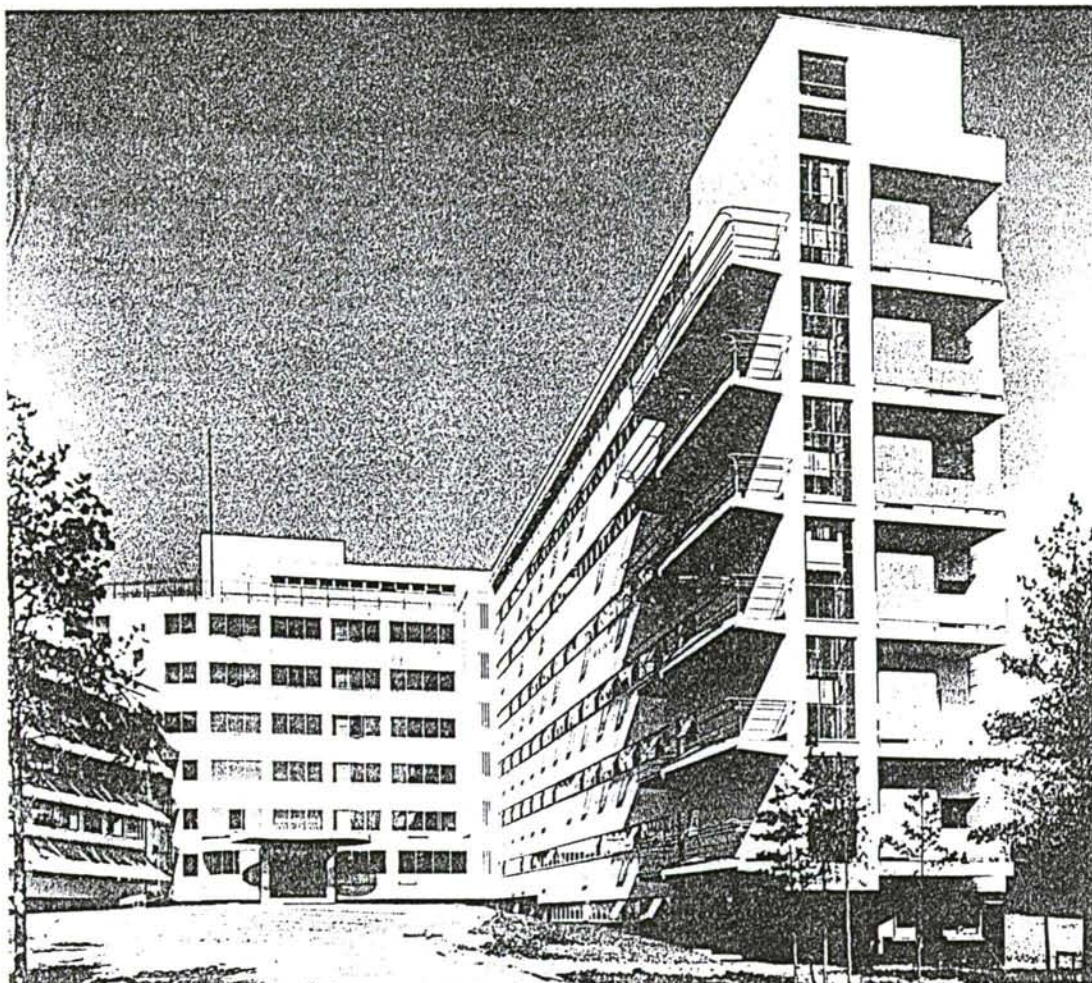
Pabellón de Alemania en la Exposición Internacional de
Barcelona, 1929.

Arq. Mies van der Rohe.



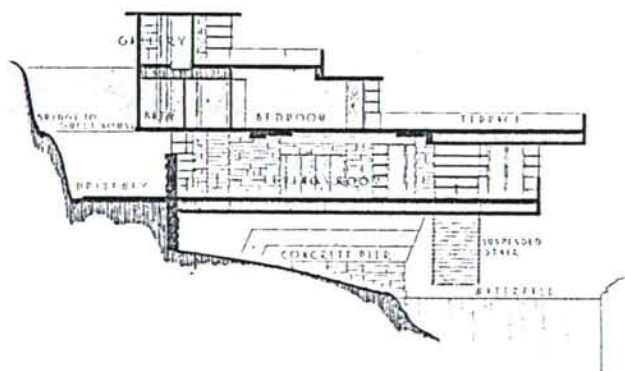
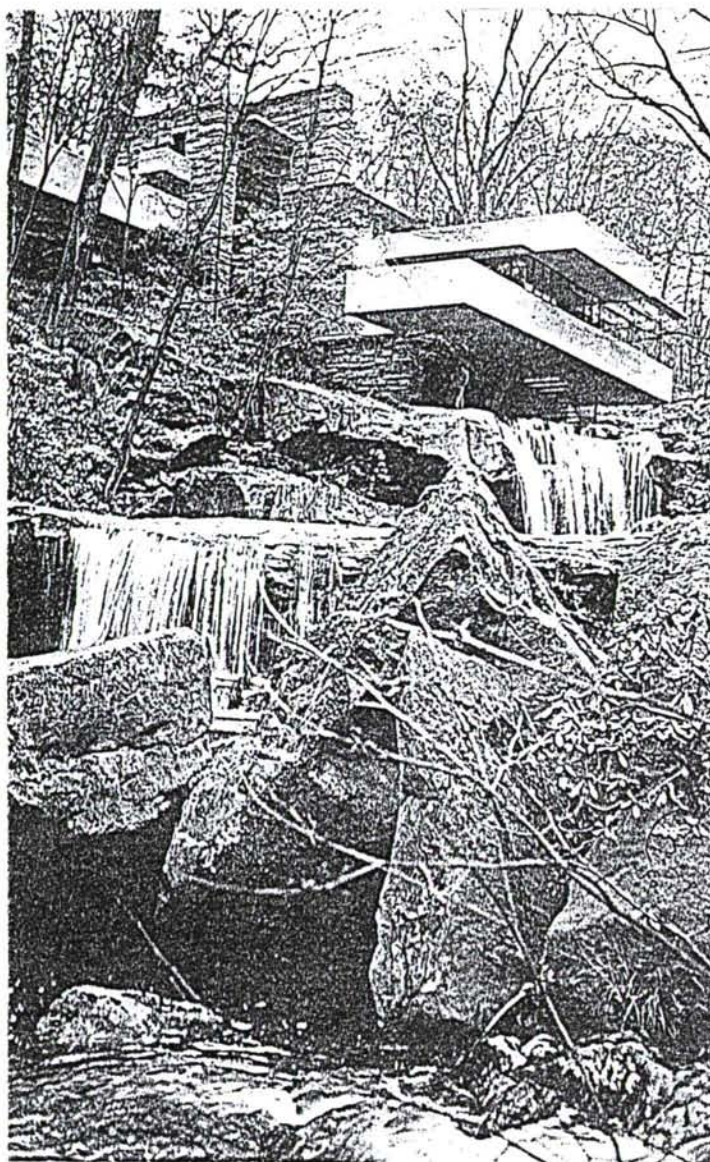
Villa Savoye, Poissy. -Francia-. 1929 - 1931

Arq. Le Corbusier



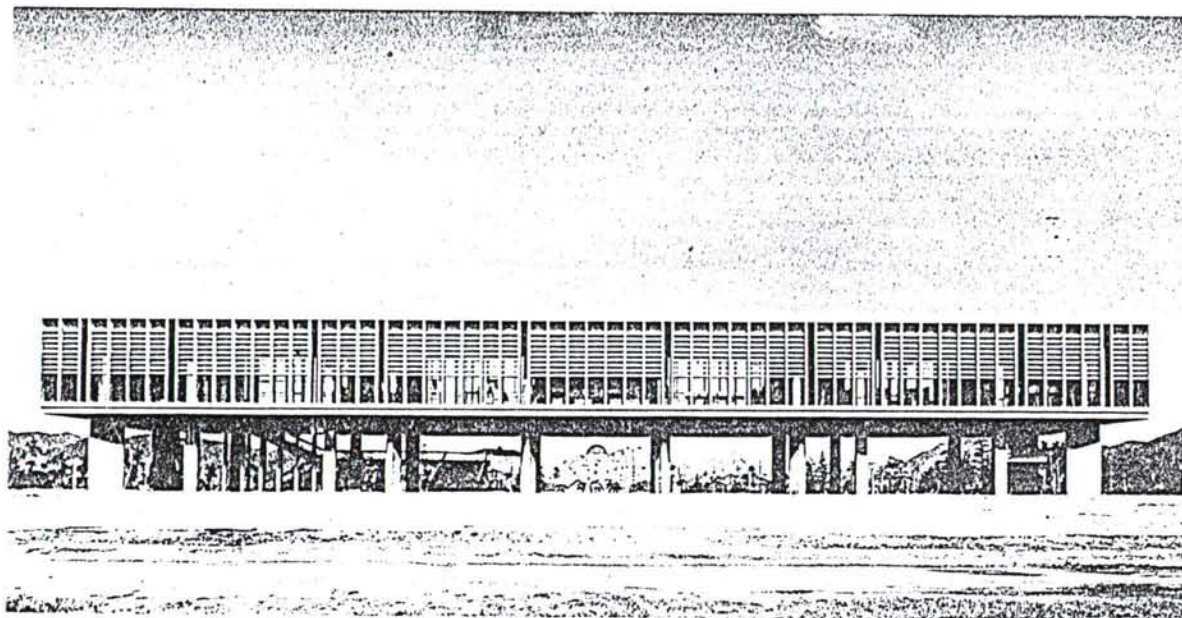
Sanatorio Antituberculoso, Palmio. - Finlandia -. 1929 - 1933

Arq. Alvar Aalto.



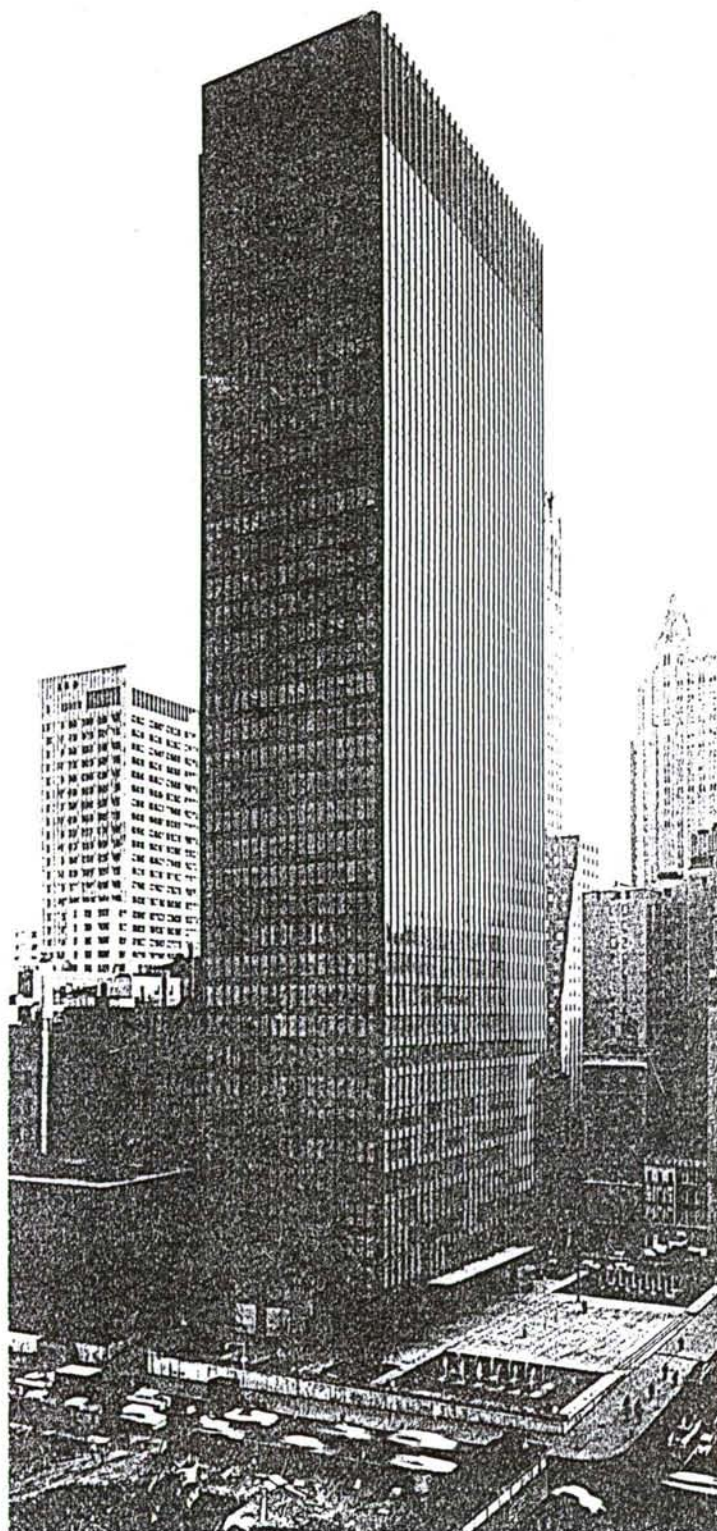
Casa de la Cascada", Bear Run.
 -Pennsylvania-. 1935 -1937
 Arq. Frank Lloyd Wright

LAMINA I.35



Centro de la Paz, Hiroshima. -Japón - . 1949 -1956

Arq. Kenzo Tange.



Hause of Seagram, 375 Park Avenue.

-Nueva York-. 1958

Arqts. Mies van der Rohe, Philip Johnson, Kahn y Jacobs .

LAMINA 1.37

reducido; eso con suerte; en otros casos, la teoría se desestima aunque sí se reconoce que al menos dejó un claro camino que ya no ha de recorrerse.

En arquitectura y urbanismo tendríamos que aceptar esa grandeza de la humildad de la ciencia. Reconozcamos que las teorías han cumplido su función. Prolongar la fecha de su defunción sería una actitud obstruccionista al progreso. Mantener un enfermo dashauciado, con goteo, respiración asistida, esperando un medicamento milagroso, pondría al enfermo en una situación de rogarnos la eutanasia. Parece que se imprime una sabia lógica de una muerte digna, natural.

Resumiendo y –panoramizando el nacimiento del Movimiento Moderno, como un movimiento de gran alcance universal, sobre todo el denominado Estilo Internacional, y con grandes aportaciones al progreso, observamos que desde el enfoque de la nueva cosmovisión que nos brinda la sinérgica para el análisis de un sistema dinámico abierto –que además se autorregula, como todos los sistemas y subsistemas sociales tal como el arquitectural– pudimos comprobar que de un período ordenado, es decir, con uno o pocos ordenadores sinérgicos que coexisten y no compiten, como es el Neoclásico, se produce un siguiente período de transición de fase con muchas tendencias, unas más importantes que otras, que fácilmente se difuminan, emergiendo otras nuevas, que entran en conflicto con muchas de las anteriores. De ese proceso de lucha por un lado y cooperación por otro, una de las fluctuaciones se amplifica –y ésto es importante– porque entra en resonancia, o correlación con la fluctuación externa del sistema, en este caso la ideología progresista y, como en todo proceso sinérgico de transición de fase, se forma un nuevo parámetro ordenador que se manifiesta a todo el sistema, marcando el rumbo dominante del nuevo estado de orden, es decir, el Movimiento Moderno de la arquitectura.

La tendencia que correlacionó al sistema arquitectural con la base ideológica dicha, queda absorbida y transformada por el sistema dominante capitalista en el seno del cual se desarrolla, prevaleciendo los aspectos funcionales, técnicos y

formales evolucionados, que obviamente se van desviando de su contenido original. Por ello y por otros factores evolutivos de la sociedad, se pondrá nuevamente en crisis el orden que se había creado.

MEMORANDUM

FILOSOFIA

Pero todos estos campos del conocimiento limitan con un área circunambiente de lo desconocido. Cuando se penetra en las regiones fronterizas y más allá, entonces se pasa de la ciencia al campo de la especulación. Esta actividad especulativa es una especie de exploración, y ésto, entre otras cosas, es lo que es la filosofía.

Bertrand Russell

La etimología de la palabra "filosofía" es muy conocida : amor a la sabiduría. Sin embargo, el término posee diversas acepciones y definiciones a lo largo de la historia.

Para Platón y Aristóteles, nace la filosofía de una admiración por lo desconocido, lo inexplicable. El amor a la sabiduría lleva al intento de descifrar lo enigmático.

La filosofía aparecía en su principio mezclada con las cosmogonías o mitologías.

Como dice Ferrater, desde sus primeros pasos, en Grecia es característico de la filosofía la duplicidad de condiciones : interés por lo universal y escasa importancia por la multiplicidad de hechos concretos; importancia de la teoría y asimismo de la conducta y la virtud. Ser especulativa y luego crítica. Destaca la superioridad de la razón, y en otro sentido, es partidaria de la intuición del ser con tendencias místicas.

Suele entenderse de modo general, que cuando se adopta una visión de conjunto en la crítica y el análisis de una determinada actividad, se está haciendo filosofía.

También se conocen filosofías especializadas : filosofía de la ciencia, del arte, de la arquitectura, etc. y se habla de la filosofía personal que uno adopta hacia la vida.

La filosofía actual centra su campo de acción en los análisis metodológicos y conceptuales.

El análisis metodológico supone una clarificación de la estructura y objetivos que se propone la ciencia. Para el análisis de los conceptos tenemos que echar mano de su funcionamiento lingüístico.

Filosofía de la ciencia y filosofía del lenguaje son las dos especialidades de la filosofía más cultivadas en la actualidad por los profesionales.

Lo específicamente filosófico no es el tema en sí, sino su modo de tratarlo. De ahí que cualquier cosa pueda ser sometida a un análisis filosófico. Por eso, Kant manifestaba que no se aprende filosofía, sólo se aprende a filosofar.

La filosofía, como actividad que pretende el conocimiento del mundo, muestra las dos facetas inherentes a todo conocimiento : el teórico y el práctico. Tenemos por tanto una filosofía teórica y una filosofía práctica.

Como escribe Jesús Mosterín :

Podemos decir que la filosofía, en su sentido más estrecho, es lo que hacen los filósofos profesionales (es decir, los profesores de filosofía); en un sentido más ancho, es lo que hacen los científicos en general cuando prestan especial atención al análisis de conceptos y métodos de la ciencia; y en el más amplio sentido, es lo que hace todo el mundo cuando trata de obtener una visión global, coherente y crítica de su campo de actividad, o cuando trata de colocar los avatares de su vida en perspectiva. En este último sentido todos podemos ser filósofos.

En resumen, la filosofía busca la visión del conjunto, sea del mundo en un sentido global, del arte, de la ciencia, etc., bajo criterios críticos y metodológicos.

En este sentido coincide con la sinérgica, que busca la acción del conjunto, pero existen dos puntos esenciales en que se diferencian. Primero, la sinérgica trata de sistemas abiertos dinámicos y que se autoorganizan. La filosofía puede tratar sistemas o no. En segundo lugar la sinérgica utiliza una metodología científica como tal disciplina científica que es. La filosofía utiliza el método filosófico, si es que así puede denominarse a los derivados de la lógica, carentes de experimentación. El método filosófico no es sometido, como el científico, a la contrastación, verificación o falsación, como diría Karl Popper. De ahí que muchos sistemas filosóficos hayan caído como un castillo de naipes. Su base era puramente especulativa. Para que esto no suceda, decía Bertrand Russell que la filosofía sólo se mantiene si bebe en el manantial de la ciencia.

Las filosofías científicas

Aunque no quisiéramos extendernos demasiado en cuestiones filosóficas, que otros pueden tratar con más autoridad, sí estimamos oportuno tocar un tema de tanta actualidad y porvenir : la filosofía de la ciencia. Y sobre todo lo queremos tratar por el extraordinario rigor que añade a la clarificación conceptual, condición necesaria para entender adecuadamente el fenómeno social. Los buenos teóricos de la arquitectura expresan, en sus escritos, las influencias de otras filosofías.

Hablar de las filosofías científicas supone mencionar sus tres facetas : la analítica, la científica y la exacta.

La filosofía analítica : se la denomina por utilizar en sus investigaciones el análisis de una lógica formalizada. Sus fundadores son Bertrand Russell y Moore. Desde sus comienzos, se orienta esta filosofía en dos direcciones : la del **lenguaje ideal** (la lógica) y la del lenguaje corriente.

Esta filosofía suele rechazar la especulación pura y la metafísica.

Si bien nace en Inglaterra, y tiene allí un importante desarrollo, no es menos importante lo realizado en el continente, con el Círculo de Viena y el positivismo lógico. También el Círculo de Varsovia viene muy caracterizado por la lógica.

Importantes filósofos analíticos, además de sus fundadores, Russell y Moore, son Mach, Hertz, Wittgenstein, etc.

La "Liga Mach" resalta la importancia del lenguaje científico. El Círculo de Viena, antimetafísico, presta especial atención a la estructura lógica del lenguaje de la ciencia.

Partiendo del positivismo lógico desarrolla Popper su filosofía, que ejerce gran influencia y da origen a la denominada "nueva filosofía de la ciencia". Una de las grandes figuras de la filosofía analítica es Wittgenstein, con extraordinarias aportaciones al análisis del lenguaje.

Algunos filósofos analíticos destacan que el propio análisis debe ser pasado por el tamiz de la crítica, surgiendo el movimiento "análisis crítico" o "naturalismo crítico". Sin importarles si se hace filosofía analítica o no, optan por una búsqueda de la verdad sin detenerse en cuestiones adjetivales. Oscilan entre el "análisis crítico" y la "crítica del análisis". Se trata de una actitud muy sana que podría servir de ejemplo a algunos críticos de la arquitectura.

La filosofía científica puede entenderse de diversos modos : una , como la filosofía que se ocupa de problemas de la ciencia, desde una óptica de estructura conceptual y lingüística; otra, abordando los problemas de la filosofía a través de disciplinas rigurosas como la lógica y las matemáticas. Kant tenía la convicción de que la metafísica pudiera transformarse en ciencia. Otros filósofos intentaron equiparar la filosofía y la metafísica a una ciencia de tipo natural. Así se menciona a Brentano cuando expresa : "El verdadero método de la filosofía no es otro que el de la ciencia natural".

Algunos filósofos de nuestro siglo pretenden utilizar un método científico en sus filosofías. Husserl por ejemplo, defiende "la filosofía como ciencia rigurosa". Como dice Ferrater "el término alemán **Wissenschaft**, utilizado por Husserl, tiene un sentido más de "saber" que de "ciencia". Por este motivo, aunque proponga un método "riguroso", no se trata de un método científico, cuando menos en la acepción "científico-natural", más bien sucede que la filosofía como "ciencia rigurosa" (o "saber riguroso") aspira a constituir el fundamento de las ciencias, por cuanto formula las "leyes eidéticas" dentro de las cuales se insertan las leyes no eidéticas, entre las cuales figuran las científicas.

Es aquí donde nos proponíamos llegar, a la **filosofía exacta**, por la

importancia que esta filosofía concede al rigor. El impulsor de la filosofía exacta, Mario Bunge, físico convertido en filósofo científico es, a nuestro entender, un maestro de la claridad y el rigor.

Algunos filósofos del siglo XIX utilizaban el término "filosofía exacta" para un movimiento filosófico que estimaban realista, en oposición a los del tipo idealista.

Mario Bunge, nacido en Buenos Aires en 1919, ejerció de profesor de física teórica en distintas universidades argentinas y norteamericanas. Fue profesor, asimismo, de la prestigiosa "Mc Gill University" de Montreal (Canadá), donde desarrolló parte de su importante obra de filosofía exacta, perteneciendo a la Foundations Philosophy of Sciencia Unit, de dicha universidad.

Bunge representa el máximo exponente de la filosofía exacta, y la define como una forma de filosofía, y también de "metafísica exacta". Utiliza la herramienta matemática y lógica que, aplicada convenientemente a la ciencia, posibilita estructurar una filosofía científica.

Dice Mario Bunge :

La exactitud, aunque deseable; no debe considerarse como un fin: es un medio para realzar la claridad y la sistematicidad, y con ello el control. Tanto en filosofía como en ciencia, la exactitud no garantiza la certidumbre; facilita el descubrimiento del error y su corrección. La exactitud no asegura la profundidad y, con ello, el interés, pero certifica la posibilidad de escrutinio racional. El ideal sería afrontar problemas auténticos y profundos de un modo exacto. Sin embargo, antes de que pueda solucionarse algún problema en filosofía exacta, hay que acumular un surtido de teorías exactas.

En la "metafísica exacta", Bunge incluye la metafísica general y las particulares de la física y de los sistemas biológico, pensante y social.

Bunge muestra un especial interés por las ciencias sociales, sobre las que ha publicado trabajos desde el punto de vista de su filosofía con argumentaciones claras, precisas y convincentes.

La filosofía de Bunge muestra una clara tendencia hacia el realismo epistemológico y el materialismo ontológico.

El idealismo, instrumentalismo y convencionalismo, son tratados por Bunge de modo claramente realista, que en nada se parece al denominado realismo ingenuo.

El marco conceptual de la filosofía exacta que desarrolla Mario Bunge nos va a ser muy útil para algunas cuestiones tratadas en este trabajo.

ANALOGIA

Es mi intención aquí exponer y someter a análisis crítico las muchas analogías establecidas por numerosos autores entre la biología y las artes aplicadas, en especial la arquitectura. El propósito que me anima es doble : de una parte mostrar lo que, en mi opinión, tienen tales analogías de útil y valioso de otra, exponer cuanto de ellas creo peligroso y erróneo.

Philip Steadman

En la teoría del conocimiento, la analogía ha desempeñado siempre un papel importante, fructífero, enriquecedor. Ya sea en la filosofía, en la ciencia o en las artes, nos toparemos frecuentemente con ella o con sus sinónimos. El conocimiento, cuando se adentra en terrenos oscuros, tiene que acudir a las semejanzas, a las similitudes. Así consigue avanzar, aunque de vez en cuando sufra algún tropiezo al alegir inadecuadamente la analogía iluminadora.

En arquitectura, la analogía tiene una importancia capital. Fue y es usada con frecuencia en la formulación de teorías arquitectónicas. Esta tesis incluso está haciendo uso, en cierto sentido, de la analogía. La sinérgica nace en el campo de la física, luego en el de la química, biología, ecología, ciencias sociales, etc. Las traslaciones de un campo a otro, que indudablemente comportan ciertos riesgos, alcanzan sin embargo bastantes éxitos.

Philip Steadman, en su obra **Arquitectura y Naturaleza**, muestra un amplio abanico de analogías utilizadas en la arquitectura : la orgánica, clasificatoria, anatómica, ecológica, darwinista, mecánica, etc.

No vamos a profundizar aquí en la amplia significación que la Analogía o sus sinónimos tienen en los más diversos campos del conocimiento, pero sí queremos dejar constancia de algunos aspectos importantes de esta figura eurística del pensamiento.

Normalmente, se entiende que establecer o encontrar analogías supone una concordancia o similitud de los entes, objetos o sistemas que se comparan, bien de forma relacional término a término, por lo cual estaríamos en un isomorfismo, o a proporciones cuantitativas o cualitativas, hallando semejanzas, correspondencias , entre los sistemas comparados.

Existen varios tipos de analogías : de atribución, de proporcionalidad, extrínseca o metafísica, etc.

También a los matices que se derivan de la sinonimia : símil, metáfora, semejanza, homología, escala, afinidad, homorfismo, isomorfismo, etc. corresponderían grados específicos en los entes comparados.

John Stuart Mill destaca que la "palabra Analogía, como nombre de un modo de razonamiento, se entiende generalmente como si fuese alguna clase de

argumento que se supone ser de naturaleza inductiva, pero no equivale a una inducción completa. Pero no hay palabra que se use más vagamente, o en una mayor variedad de acepciones".

O, como aclara Ferrater :

Algunas veces se usa la analogía, en un sentido de inducción muy rigurosa, como la "semejanza de relaciones" de que hablan los matemáticos, y otras se aplica a razonamientos fundados en cualquier tipo de semejanza. Pero aunque ciertas semejanzas pueden proporcionar algún grado de probabilidad, no es posible llegar a conclusiones inductivamente aceptables en muchos casos. Por lo tanto, aunque puede usarse el razonamiento por analogía, hay que hacerlo solamente cuando se dan ciertas condiciones; junto a semejanzas, hay que investigar diferencias y ver la relación entre ambas dentro de un conocimiento "tolerablemente extenso" de la materia. Sólo cuando la semejanza es muy grande y la diferencia muy pequeña, sostienen J.S. Mill, puede aproximarse el razonamiento por analogía a una inducción válida.

En cuanto a los "razonamientos por analogía", la mayoría de los autores modernos los clasifican en dos tipos : el **cuantitativo** o proporcional, que se traduce en hallar el cuarto término de una proporción en que se convocan las otras tres, y el **cualitativo**, que supone deducir en objetos semejantes alguna propiedad homóloga de un objeto o conjunto de ellos, partiendo de las propiedades del referente. De modo simplificado, ésto se expresa así : Si el conjunto C tiene la propiedad p y C y C₁ tienen en común las propiedades a, b, c, d, se infiere que C₁ tiene, **probablemente**, la propiedad p.

Desde un punto de vista lógico-formal, el razonamiento por analogía no supone la certeza fehaciente de la deducción obtenida, sino la probabilidad de que pueda ser cierta, ya que se va de lo particular a lo particular.

REDUCCION

Prigogine rechaza de plano la perspectiva reduccionista. Al concentrarse en la existencia del tiempo en todas las dimensiones de la realidad, en el papel omnipresente del caos en la creación del orden espontáneo, Prigogine tiende hacia lo que denomina el "reencantamiento de la naturaleza". Quiere mostrar que, siendo seres temporales y espontáneamente creados, formamos parte integral del movimiento temporal y espontáneamente organizado de la naturaleza, en vez de ser un accidente poco probable. También quiere mostrar que nuestros actos tienen peso.

Briggs y Peat

Es frecuente, en la teoría del conocimiento, realizar traslaciones de una a otra disciplina de naturaleza distinta. Estas traslaciones se hacen por las similitudes halladas en puntos concretos de las disciplinas de estudio. En otros casos, se observa que una determinada disciplina presenta con otra un amplio espectro de similitudes, por lo cual no se duda en **reducir** la primera a la segunda. Pero el

reduccionismo no es así de sencillo. Estudiar la sociedad humana asimilando ésta a un sistema mecánico de partículas, es decir, reducir el hombre a una partícula, puede abrir nuevos caminos a la investigación que resulten creativos y produzcan sus frutos; piénsese en Herbert Spencer y su **Estática social**, con la aplicación de las leyes de Newton. Obviamente, en unos casos parece que funciona y en otros no. La tal reducción no es posible.

Veamos cómo la filosofía entiende la **reducción**. Siguiendo a Ferrater Mora, el concepto tiene varias acepciones. Desde un punto de vista de la lógica, la **reducción** supone considerar unas cuantas operaciones, tales como :

- 1) En la lógica aristotélica, reducir las figuras del silogismo a la primera figura.
- 2) La abducción inferencia hipotética, o retroducción, que el filósofo Peirce denominaba como el razonamiento que va del consecuente al antecedente. Como señala Ferrater : "Dicho metafóricamente, el método hipotético-deductivo consiste en argumentar a partir de las primeras líneas de una página "hacia abajo", y el método reductivo consiste en argumentar a partir de las últimas líneas de una página "hacia arriba". Más que deducir conclusiones se trata de contrastar hipótesis.
- 3) El razonamiento apagógico, método de prueba indirecta, o, como habitualmente se conoce, método de reducción a lo absurdo.

Ferrater, citando a Lukasiewicz y Bochenski, nos dice que la reducción es un método que se contrapone al de la deducción. "En la deducción se derivan unas proposiciones de otras por medio de reglas de inferencia". Un ejemplo es :

Pedro fuma.

Pedro tose.

Pedro fuma y Pedro tose.

En la reducción se deriva el antecedente de un condicional de la afirmación de consecuente. Ejemplo es :

Si Pedro fuma, Pedro tose.

Pedro tose.

Pedro fuma.

Según Bochenski, la reducción puede entenderse en cuatro sentidos, agrupados en dos fundamentales :(a) La reducción puede ser progresiva (y consiste entonces en la verificación) (b) La reducción puede ser inductiva (y consiste entonces en una generalización), o no inductiva (y no consiste entonces en una generalización).

La filosofía trata ampliamente, por su importancia, el concepto **reducción**. Por lo que a nosotros atañe, sólo nos interesa destacar algunos aspectos fundamentales, sobre todo el llamado "**reduccionismo**" en las ciencias, que, si bien es muy creativo, al igual que la analogía, también tiene sus riesgos. Resumimos a continuación estos aspectos básicos, expresados por Ferrater.

Una de las actitudes más comunes del "reduccionismo" es la que defiende la tesis según la cual una realidad determinada "no es sino" otra realidad que se supone "más real" o "más fundamental". El tratamiento de fenómenos complejos conlleva la necesidad de simplificación, para posibilitar el manejo conceptual. Ello supone "dificultades derivadas no sólo de la irreductibilidad ontológica que resulta de una pura descripción de las capas de lo real, sino de las mismas exigencias teóricas en las ciencias". Así, son muy conocidas las reducciones sucesivas de la :

psicología → fisiología → química → física

La reducción en las ciencias, cuando ello es posible, se sitúa en otro nivel donde se pierden contenidos específicos de la ciencia reducida que interesaba conservar. Los científicos están sobre aviso de este hecho, y no suelen confundir reduccionismo con isomorfismo.

Conviene distinguir dos tipos de reducción :

Reducción ontológica, es la reducción de unos objetos a otros.

Reducción semántica, es la reducción de unos enunciados a otros. Ésta puede ser, a su vez, formal, cognoscitiva, completa, incompleta, etc.

Ha sido esclarecedor, en cuestiones relativas al planteamiento lógico de problemas filosóficos y científicos, la distinción de los diversos tipos de reducciones. Así, Nagel las tipifica en : formal, epistémica, selectiva, constitutiva, característica y completa.

Ferrater, citando a Nagel, señala : "el problema de la reducción en las ciencias debe ser considerado siempre "en términos de las conexiones lógicas entre ciertos enunciados empíricamente confirmados" de dos o más ciencias dadas, por lo cual no se trata de la posibilidad o imposibilidad de deducir las propiedades de un sujeto a partir de las propiedades de otro, ni tampoco negar la existencia de ciertos fenómenos declarándolos ilusorios (por ejemplo, la temperatura, por el hecho de "reducirse" a elementos moleculares). Así se eliminan, según Nagel, varios pseudoproblemas que habían sido planteados por el antiguo reduccionismo, el cual no tenía en cuenta ni la diferencia entre "reducción lógica" y "reducción ontológica", ni tampoco el hecho de que todo problema concreto se refiere a un estado determinado de la ciencia considerada".

Si nosotros, al aplicar los conocimientos de la sinérgica –**rama de la física**– al sistema arquitectural, ejemplificamos que en determinadas acciones colectivas, un individuo se comporta como un electrón luminoso en la luz láser, o como la molécula en la inestabilidad de Bénard, realmente estamos haciendo una "reducción lógica", no ontológica. Son las leyes sinérgicas que, en los comportamientos colectivos, muestran estructuras similares, bien entendido esto entre los niveles comparados, quedando mucha fenomenología sin reducir y que tiene sus leyes específicas. La ciencia reductora actúa como detonante que impulsa a la reducida a otear nuevos horizontes.

Haken, Prigogine y Laszlo manejan continuamente la analogía y la reducción en el sentido moderno de las ciencias de la complejidad, con un profundo conocimiento de causa, abriendo con ello nuevos caminos a la investigación en las ciencias sociales y humanísticas.

Mario Bunge, en "**Mente y Sociedad**", trata con claridad la cuestión del reduccionismo, distinguiendo en la reducción gnoseológica, referente a las teorías, dos tipos : fuerte o total y débil o parcial.

En el caso de la reducción fuerte de una teoría a otra, se realiza con definiciones reductivas en la segunda.

En la reducción débil, además de practicarse la operación anterior, es necesario introducir hipótesis subsidiarias que no están presentes en la teoría reductora.

Formalmente, Bunge expone la reducción gnoseológica en el siguiente cuadro:

Tipo de reducción	Estructura lógica	Ejemplos
Inclusión de T_1 en T_2	$D = \emptyset, S = \emptyset$ $R(T_2) \subset R(T_1)$ $T_1 \vdash T_2$	La mecánica de las partículas es una subteoría de la mecánica de los medios continuos.
Reducción fuerte de T_2 a T_1	$D \neq \emptyset, S = \emptyset$ $R(T_2) \subseteq R(T_1)$ $T_1 \cup D \vdash T_2$	La óptica es fuertemente reductible a la teoría electromagnética vía $D =$ La luz es radiación electromagnética de longitud de onda comprendida entre 3800 y 7000 angstroms.
Reducción débil de T_2 a T_1	$D \neq \emptyset, S \neq \emptyset$ $R(T_1) \cap R(T_2) \neq \emptyset$ $T_1 \cup D \cup S \vdash T_2$	La química cuántica es débilmente reductible a la mecánica cuántica. La genética es débilmente reductible a la bioquímica. Una parte de la psicología individual es débilmente reductible a la neurociencia. La historia es débilmente reductible a las demás ciencias sociales.

Donde :

T_1 y T_2 = Dos teorías con algún referente común

- D = Conjunto de definiciones reductivas
- S = Conjunto de hipótesis subsidiarias, no incluídas en T_1 y T_2 pero que se formulan en el lenguaje resultante de la unión de los lenguajes de T_1 y T_2 .

En el cuadro se utiliza la simbología conocida :

\emptyset = conjunto vacío.

\subset = inclusión de conjuntos.

\vdash = relación de deducción.

\cup = unión de conjuntos.

$R(T)$ = clase de referencia, o dominio del discurso de T.

- 1) T_2 es una subteoría (o caso especial) de T_1 ; = df T_2 se sigue (lógicamente) de T_1 al restringirse el dominio (o clase de referencia) de T_2 a un subconjunto propio del dominio de T_1 ;
- 2) T_2 es totalmente (o fuertemente) reductible a T_1 = df T_2 se sigue lógicamente de la unión de T_1 , D y S.

Bunge distingue así mismo, que la reducción puede ser :

descendente : el todo se explica por sus partes.

ascendente : las partes se explican por el todo.

A la primera la denomina **micro-reducción**, o análisis de abajo hacia arriba.

A la segunda la llama **macro-reducción** o análisis de arriba hacia abajo.

Dice Bunge :

Lo que suele llamarse **reduccionismo** es la estrategia de investiga-

ción, o principio metodológico, según la cual la micro-reducción es necesaria y suficiente en todos los casos para dar cuenta de las propiedades globales o sistemáticas de una totalidad. En cambio el macro-reduccionismo suele llamarse **anti-reduccionismo**. El compañero ontológico del reduccionismo es el atomismo, y el anti-reduccionismo es el globalismo u holismo.

El micro-reduccionismo puede ser **moderado o radical**, según que admita o rechace las necesidades de enriquecer las teorías primarias, o reducirlas con hipótesis subsidiarias.

El análisis del sistema arquitectural, como veremos en el capítulo VI, echa mano de este marco conceptual. Son necesarios los micro y macro reduccionismos, pero no de modo aislado, si no conjunto para un análisis completo del sistema arquitectural. Como lo expresa Bunge :

En resumen, la ciencia contemporánea ha escogido un camino intermedio entre el anti-reduccionismo y el reduccionismo radical, así como entre el holismo (globalismo) y el atomismo. Esta **vía media** es el reduccionismo moderado unido al emergentismo y al sistemismo.

El análisis sinérgico de un sistema social no se queda con el estudio de cada extremo del sistema, atomismo u holismo, si no en esa **vía media** que contempla el análisis de los componentes del sistema dinámico, sus interrelaciones, fenómenos emergentes y la acción conjunta del sistema.

TEORIA

La teoría y el sistema son lentes indispensables para intentar percibir la realidad material, natural o social.

Claude Levi-Strauss

De una manera general, entendemos por **teoría** un conocimiento especulativo, desvinculado de su aplicación práctica.

También es muy habitual asociar el término teoría a la hipótesis –o conjunto de ellas– que se formulan como relación causal en la explicación de algún fenómeno.

Dado que en arquitectura, como en cualquier otra actividad, se parte de algún presupuesto teórico para plasmarlo en la práctica, nos interesa exponer varias

cuestiones relativas a la **Teoría**.

La palabra "teoría", en su etimología griega, significa "observar", "mirar".

En filosofía, **teoría** significaba inicialmente especulación, contemplación. Aristóteles ya distingue entre ciencia teórica y ciencia práctica. Buen número de pensadores antiguos le daban supremacía a la "teoría" respecto de la "práctica".

Dice Ferrater :

Sigue discutiéndose en la actualidad el problema de la relación –sea como contraposición, equilibrio o armonía, fusión o primado de una sobre otra– entre teoría y práctica, teoría y praxis, y teoría y acción. En este caso se da a "teoría" el sentido muy general de "conocimiento", en particular de "conocimiento objetivo".

No es fácil definir el concepto "teoría", por estar sometido a la variabilidad de sus campos específicos y, en general a la epistemología y la filosofía de la ciencia. Mario Bunge, en su excelente obra "**La investigación científica**", de más de 900 páginas, dedica muchas de ellas a precisar conceptos básicos, como : conocimiento científico, ley, método, concepto, lenguaje, sistemática, definición, problema, hipótesis, etc., y donde al tema **teoría**, le destina casi 150 páginas. Considera dos aspectos en la teoría : estático y dinámico. En el capítulo de la citada obra de Bunge, se refiere a la **Teoría - Estática**, de forma extraordinariamente clara :

Las síntesis están más allá de la ciencia inicial, igual que tampoco se encuentran en el pensamiento infantil. La investigación científica, como la curiosidad infantil, arranca de preguntas : pero, a diferencia de las preguntas infantiles, culmina con la construcción de sistemas de ideas muy compactas, a saber, las teorías. Es una peculiaridad de

la ciencia contemporánea que la actividad científica más importante – la más profunda y la más fecunda– se centre en torno a las teorías, y no en torno a la recolección de datos, las clasificaciones de los mismos o hipótesis sueltas. Los datos se obtienen a la luz de teorías y con la esperanza de concebir nuevas hipótesis que puedan a su vez ampliarse o sintetizarse en teorías; la observación, la medición, y el experimento se realizan no sólo para recoger información y producir hipótesis, sino también para someter a contrastación las teorías y para hallar su dominio de validez; las explicaciones y las predicciones se realizan también en el seno de teorías; y la misma acción, en la medida en que es consciente, se basa cada vez más en teorías. Dicho brevemente : lo que caracteriza a la ciencia moderna es la insistencia en la teoría –en la teoría empíricamente contrastable, desde luego– y no en el interés primordial por la experiencia en bruto.

En las ciencias naturales o sociales, los tipos de teorías se producen en función de aquello que se intenta explicitar.

La interpretación epistemológica de las teorías es hoy, en el campo de la filosofía de la ciencia, un tema de candente debate. Dos corrientes principales de opinión se destacan en este debate. La "realista", que interpreta el mundo de forma que el contenido de la teoría coincide con los hechos reales, y la concepción "convencionalista", que considera la teoría como un mero instrumento que funciona sin importarle la existencia de lo teorizado. Escuchemos a Mario Bunge : "La teoría científica perfecta (completa y enteramente precisa) no existe ni existirá nunca", y trata de demostrar su afirmación con su habitual claridad. Luego continúa : "Toda teoría científica se construye desde el comienzo como una idealización de sistemas o situaciones reales. O sea, la mera construcción de una teoría científica supone **simplificaciones**, tanto en la selección de las variables relevantes como en la formulación de hipótesis acerca de las relaciones entre ellas (por ejemplo, enunciados legaliformes).

Esas simplificaciones se practican siempre, nos demos cuenta o pasemos por

alto el hecho de que equivalen a errores –no confusiones–, sino errores en el estricto sentido de discrepancias con los hechos reales. Aún más : lo que acabamos de afirmar no es un mero enunciado descriptivo de costumbres vigentes en la construcción de teorías; es una regla de la construcción de teorías : prescribe que se hagan en el punto de partida todas las simplificaciones que sean necesarias, reduciéndolas luego gradualmente, sólo en la medida en que resulten ser amputaciones demasiado brutales. Tales simplificaciones son, desde luego, discrepancias queridas y buscadas respecto de la verdad.

Como no puede haber teoría perfecta, debemos intentar construir teorías cada vez mejores, o sea, contribuir al progreso teórico, lo cual sería imposible si la perfección fuera alcanzable.

Aquí está la grandeza y humildad de la ciencia. Su antidogmatismo es motor de progreso. Reconocer, como decía aquel filósofo, **que la verdad descansa en una curva cuya asíntota es nuestro espíritu**, supone un estado de ánimo ilusionado, de la búsqueda sin fin, evitando acudir a mitos que, de un golpe, lo explican todo y está claro que no explican nada.

Y para terminar con el concepto científico de la teoría y pasar al arquitectónico debo citar una vez más a Mario Bunge, en el aspecto dinámico de la teoría que desarrolla en su obra "La investigación científica" (Capítulo VIII) :

Las teorías pueden construirse, remodelarse, reconstruirse lógicamente, aplicarse, destruirse y olvidarse. La construcción de una teoría científica es siempre la edificación de un sistema más o menos afinado y consistente de enunciados que unifica, amplía y profundiza ideas, las cuales, en el estado preteórico, habían sido más o menos intuitivas, imprecisas, esquemáticas e inconexas.

Si enmarcar conceptualmente la **teoría** en el campo científico no es tema fácil, mucho menos lo es en un campo relacionado con el mundo del arte.

Algunos seguidores de Wittgenstein, estudiando su obra **Investigaciones filosóficas**, de 1953, llegaron a la conclusión de definir coherentemente el arte.

Croce en su **Breviario de estética** señala : "A la pregunta ¿Qué es el arte? puede responderse bromeando, con una forma que no es completamente necia, que **el arte es aquello que todos saben lo que es**".

Y Dino Formaggio : "Arte es todo aquello a que los hombres llaman arte".

En el campo del arte, la intuición juega un papel primordial; por ello, dar definiciones puramente racionales presenta el riesgo de que resulten incompletas.

Croce y Heidegger, uno en el campo estético y el otro en el ontológico, intentaron racionalizar la intuición. Mario Bunge, en su obra **Intuición y Razón**, hace un análisis histórico y científico desde la perspectiva filosófica, matemática y científica. No trata el tema artístico, aunque sí lo insinúa, y a lo largo del libro pone de manifiesto lo que muchos científicos actuales están afirmando : que la creación filosófica y científica tiene un gran parentesco con la creación artística.

Dice Bunge :

Quienes alaban las artes por ser imaginativas y desprecian las ciencias por su "aridez" no pueden haber ido más allá de la tabla de logaritmos. Es posible sostener que la investigación científica es mucho más imaginativa que el trabajo artístico, aunque ese ingenio puede no ponerse de relieve en el producto final. Puede afirmarse que la hipótesis del fotón de Einstein (1905), la hipótesis de Oparín acerca del origen de la vida a partir de un "caldo" primitivo (1923) o la computadora, esa maravillosa mucama universal, son creaciones

más ingeniosas que el **David** de Miguel Angel, el **Hamlet** de Shakespeare o **La Pasión según San Mateo** de Bach.

La imaginación creadora es más rica en las ciencias que en las artes, puesto que debe trascender la experiencia sensible y el sentido común, y es más exigente porque debe trascender al yo y procura ser verídica. La investigación científica no es pura **Dichtung** : tiende a ser **Wahrheit**. A pesar de ello, algunos de sus productos, en particular las grandes teorías que modifican nuestra visión del mundo, son tan poéticas como puede serlo la misma poesía.

La definición del arte, y en consecuencia, sus teorías, la complica el arte contemporáneo al ofrecer una variedad de lecturas. Otro aspecto que complica una definición del arte lo constituye su polaridad : el sujeto que lo crea y el sujeto que lo contempla; es decir, un componente objetivo, la obra de arte, y otro subjetivo.

El "objeto" estético, la obra de arte, está sometido a los juicios del gusto personal, subjetivos con expresiones intelectuales que involucran los sentimientos bello, sublimeo, feo, como cualidades más relevantes, y que pueden ser utilizados de mil formas, entre estos espacios estéticos.

Las distintas ciencias pueden ser estudiadas con independencia del sujeto experimentador, aunque en principio la teoría cuántica afirmaba que el observador influiría con su presencia en el experimento cuántico. Hoy está demostrado por algunos físicos, y especialmente por Bunge, el error en tal creencia.

El artista, en cambio, transmite su potencial artístico a la obra y ésta después ha de ser percibida, con su sensibilidad, por el sujeto.

Schelling afirmaba que, con su inteligencia, el espíritu creó la **ciencia**; con su voluntad, la **moral** y con su sentimiento, el **arte**. Y en éste, Schelling encuentra en máximun de la vida del espíritu, una síntesis de lo finito e infinito, y la superación de las contradicciones. Algunos intelectuales románticos encontraban en el sentimiento una facultad cognoscitiva superior al de la razón. El arte es un

medio privilegiado de conocimiento.

Dicen los poetas románticos que el conocimiento racional proviene de un conocimiento intuitivo del sentimiento.

Sea como fuere, las definiciones y las teorías del arte pueden ser muy varias y están sujetas a los acontecimientos histórico-culturales de cada época, que presentan campos de sensibilidad artística específicos. No obstante, nunca faltan los teóricos que, a través de sus escritos o manifiestos, expresan un marco conceptual y a veces normativo de cómo tiene que ser el arte.

La arquitectura que está influida por el triple componente de ciencia, tecnología y arte, debiera permitir, como corolario, aplicar al concepto "teoría arquitectónica" aspectos proyectivos de la ciencia y el arte, en sus especificidades teóricas. Pero si bien la arquitectura, como conocimiento y realidad, globaliza ciencia, técnica y arte, ello no implica aspectos de linealidad en el sumatorio de componentes del sistema arquitectural. Nuestra tesis tiene como núcleo la teoría de los sistemas dinámicos abiertos y, como sabemos y tendremos ocasión de comprobar, las propiedades de los sistemas complejos, no lineales, no coinciden con la suma de las propiedades de los componentes. Existen un campo de interacciones que muy bien podría equipararse a los reactivos de una ecuación química.

Si para la ciencia y el arte no era fácil acotar el campo de la definición de la teoría, el mismo problema es insoslayable en la arquitectura.

Consultando bibliografía sobre el tema, al menos nosotros no hemos encontrado ninguna publicación que desarrollara la cuestión de la "teoría arquitectónica", desde la solidez que da una base científica.

Sí aparecen bajo el punto de vista crítico. Así, en la **Historia de la teoría de**

la arquitectura de Hanno-Walter Kufert, confiesa el autor en su prólogo que : "la meta de este libro no es la discusión de las interpretaciones científicas sobre los sistemas de teoría de la arquitectura, sino la expresión crítica de las teorías. Por tanto, el punto de partida no es tanto una estructura de pensamiento dada, como la acumulación de las teorías expuestas". No obstante, este autor ha realizado un trabajo muy interesante. En la introducción destaca algunas cuestiones básicas a las que haremos referencia más adelante.

Otro libro, **Teorías e historia de la arquitectura**, de Manfredo Tafuri, nos despista el título ya que la palabra "teoría" no aparece en todo el libro. En su lugar, y en casi todas las páginas, está la palabra "crítica". El libro de Tafuri comienza así en la introducción :

Que la crítica de la arquitectura se encuentra hoy en una situación por lo menos "difícil" es un dato que, creemos, no precisa ser demostrado.

Criticar significa, en realidad, recoger la fragancia histórica de los fenómenos, someter éstos a una rigurosa valoración crítica, descubrir sus mixtificaciones, valores, contradicciones y dialécticas internas y hacer estallar toda la carga de sus significados.

Nos parece extraordinario que se realice la crítica, una buena crítica; es incuestionable que ejerce un valor positivo e impulsa el progreso. Pero teoría y crítica no es la misma cosa, aunque sí se complementan. Se propone una teoría, se lleva a la práctica y ahí comienza la crítica; pero ésta, para ser coherente, debe tener conocimiento de la teoría. De las contradicciones e incoherencias, surgen los reajustes de la teoría. Se podría aprender mucho de la ciencia en este sentido. **Echamos en falta ese estudio científico de la teoría arquitectónica.** Creemos que la **sinérgica** podría ser muy útil en ese campo de investigación que, por ahora, según nuestros conocimientos, está yermo.

La teoría de la arquitectura, en los tratados de Joaquín Arnau Amo, es una interesante publicación. En el primer tomo estudia a Vitrubio; en el segundo a Alberti y en el tercero a Filarete, Di Giorgio, Serlio y Palladio.

Arnau expone así su concepto de la teoría de la arquitectura :

Sin embargo, solemos entender por teoría algo así como el conocer **puro**. Pero, ¿en dónde hallar un puro conocer?. La pureza no es un atributo del conocimiento. Al conocimiento conviene mejor la fecundidad. Y eso que llamamos puro conocer –el conocer de la filosofía– es un conocer por palabras : un conocer, pues, no puro, sino literario.

Por eso, cuando aludimos a la teoría de la arquitectura, de la música o de otras bellas artes, nos referimos sin duda a cierta literatura. Y es admirable el buen juicio de Schlosser cuando, a propósito de su voluminoso volumen sobre la teoría y la crítica de las artes, prefiere el título llano y veraz de la **Literatura artística**. La teoría, pues, de la arquitectura, no consiste en un secreto o inefable pensamiento, un secreto deja de serlo cuando se dice y, si permanece, no da lugar a un libro –sino en la **traducción** literaria, no del pensamiento de la arquitectura, sino de la misma arquitectura, en tanto que pensamiento.

La teoría de la arquitectura, por tanto, ni es previa, ni consecuente a la arquitectura, sino colateral : a lo sumo gemela. La arquitectura y su teoría configuran como la cara y la cruz de la misma moneda. No son formas diferentes de un mismo hecho. Y el hecho es la construcción de un modelo para la comprensión del mundo, un modelo en el que caben edificios y palabras.

Este entender la teoría de la arquitectura en base al conocimiento literario o literalidad del conocimiento, nos recuerda aquellos momentos álgidos de hace unas décadas, de la filosofía del lenguaje que Wittgenstein había promovido tanto a través de su célebre **Tractatus** de su misma época como el de **Investigaciones filosóficas** del segundo Wittgenstein, con sus "juegos de lenguaje".

Las teorías de la arquitectura están sometidas a las leyes de evolución de los sistemas dinámicos abiertos. Esta evolución es parangonable con la de las teorías científicas. Así, Thomas S. Kuhn en su famoso libro **"La estructura de las Revoluciones Científicas"**, habla de una ciencia normal que se desarrolla bajo un paradigma determinado; luego éste entra en crisis, por las contradicciones que se producen en el avance del conocimiento, resolviendo dicha crisis a través de una revolución científica que origina un nuevo paradigma. Todo esto en pura sinérgica que, como veremos más adelante, explica de modo claro y sistemático este tipo de evoluciones.

Al historiador del arte y la arquitectura le son útiles las teorías, así como al crítico y al profesional.

En las teorías de la arquitectura, no solamente están presentes las internas de la disciplina –científicas, técnicas, artísticas– sino, y esto es muy importante, las sociales, económicas, políticas y culturales.

Como afirma H.W. Kruft, en la **Historia de la teoría de la arquitectura** :

La teoría de la arquitectura es imprescindible como fundamento para el arquitecto en ejercicio, si éste quiere tener claridad respecto a los principios con que trabaja. Para dilucidar la propia situación es necesario, o al menos útil, saber como otros han abordado problemas iguales o análogos. Una arquitectura que no se fundamenta en una teoría va camino de la arbitrariedad o se anquilosa.

Existen muchas teorías de la arquitectura, dispersas y recogidas en Tratados, Ensayos y Manifiestos. Pero un estudio sistemático, científico, del progreso dialéctico entre teoría y praxis, de falsación, verificación y **contrastación**, no tenemos conocimiento de que se haya realizado. Sería interesante una investigación en ese sentido, en la que, como decíamos anteriormente, la sinérgica podría jugar un papel importante.

CAPITULO II

CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD

SISTEMAS

CUESTIONES BASICAS

Los científicos estudian cosas concretas pero no aisladas: todas las cosas que encuentran o hacen son, sea sistemas, sea componentes de sistemas. Por cierto, que a menudo uno hace cuenta, **para simplificar**, que el objeto de estudio está totalmente aislado del resto del mundo: uno puede estudiar un electrón libre, o un organismo en sí mismo, o una nación en sí misma. Pero generalmente se admite que semejante aislamiento es artificial: que no es sino una ficción que nos permite construir modelos comparativamente simples que eventualmente habrán de ser reemplazados por modelos más complejos y realistas. También se admite generalmente que una comprensión más profunda de cualquier cosa obliga a ponerla en su contexto natural. Por ejemplo, el ecólogo trasciende las limitaciones del estudio de los organismos individuales, y tanto el etólogo como el psicólogo social complementan la labor del zoólogo y del estudioso de la psicología individual, respectivamente.

Mario Bunge

Definición de sistemas

Son muchos los tipos y definiciones que se dan de los sistemas, por su gran variedad.

De un modo muy general, se entiende por sistema un conjunto de objetos interrelacionados que contribuyen a un fin determinado, o también a un conjunto de principios y reglas que están coordinados de alguna manera.

Cada rama del saber matiza su definición de sistema.

Sí está claro que debemos delimitar el conjunto o conjuntos de elementos que pretendemos definir, y también las relaciones que nos sirven para su estudio.

En la terminología de algunos autores, el conjunto de elementos o cosas es el universo del sistema. Así, Mosterín dice que según el punto de vista que fijemos, así obtendremos el universo correspondiente : "Lo único importante es que especifiquemos claramente en cada caso qué conjunto (o conjuntos) de cosas vamos a considerar como universo (o universos) del sistema, y qué relaciones (y funciones, propiedades o posiciones) vamos a fijarnos explícitamente. Con ello, quedaría definido el sistema.

Bertalanffy, el padre de la Teoría General de Sistemas, los define de un modo muy sencillo ."un sistema es un complejo de elementos que actúan recíprocamente".

Para **Sadowsky**, existen tres tipos de sistemas : sistemas de cosas; sistemas de objetos y sistemas de conocimientos; y este autor añade además que en todo sistema se debe tener en cuenta : 1) un conjunto de elementos; 2) la existencia de relaciones entre ellos y 3) el carácter de totalidad del conjunto dado.

Voltes Bou, comentando esta definición, puntualiza :

El primer componente es inequívoco. Un elemento no forma ningún sistema. La dificultad reside sólo en que la frontera entre diversos grupos de elementos no es siempre fácil de trazar. El segundo componente es el más importante. Un sistema no puede estar formado por componentes aislados. Lo específico de un sistema debe ser buscado en las relaciones que reúnan todos los elementos de un conjunto dado en un todo unitario.

La lista de definiciones de sistemas es muy amplia. Para nosotros, no es suficiente con las anteriores.

Clasificación de sistemas

Según Van Gigch, los sistemas pueden ser clasificados en función de los siguientes criterios :

- 1) Que sean vivientes o no vivientes.
- 2) Que sean abstractos o concretos.
- 3) Que sean abiertos o cerrados.
- 4) Que se manifiesten un grado alto o bajo de entropía o desorden.
- 5) Que manifiesten simplicidad organizada, complejidad desorganizada o complejidad organizada.
- 6) Que estén adscritos a una finalidad.

- 7) Que exista "feedback" en ellos.
- 8) Que estén organizados.

Se infiere que un sistema como conjunto físico conceptual será clasificable atendiendo a la similitud de sus características esenciales, tales como : constitución, estructura, interrelación de sus componentes, funciones, propiedades, etc.

Como expresa Van Gigch, la clasificación depende del criterio elegido.

En un sentido más explícito, se relacionan a continuación las **clasificaciones más usuales**:

Por su composición : simple o compleja.

Simple : cuando consta de elementos unitarios.

Compleja : cuando cada elemento es en sí otro sistema, es decir, el sistema está compuesto de subsistemas.

Por su organización interna : homogéneo o heterogéneo.

Homogéneo : Cuando tiene un solo conjunto o universo. Como señala Mosterín, un sistema homogéneo es un conjunto ordenado por una clase no vacía, A, llamada el universo del sistema, y una secuencia de entidades distinguidas, es decir: de individuos de A, de propiedades de individuos de A, de relaciones entre individuos de A y de funciones entre indi-

viduos de A.

Heterogéneo : Cuando está compuesto por varios universos.

Por su estado : estático o dinámico.

Estático : Las características o parámetros objeto de estudio no varían en el tiempo fijado.

Dinámico : Los componentes interactúan entre sí, produciendo cambios en el tiempo. En éstos, interesa más la conducta o comportamiento que su estructura.

Por su naturaleza : naturales o artificiales.

Naturales : Los que espontáneamente aparecen en la naturaleza, cuyo número es inmenso.

Artificiales : Los creados por la mano del hombre.
Ejemplo : un motor.

Por sus relaciones con el medio : abierto o cerrado.

- Abierto** : Cuando existen intercambios con el medio que rodea al sistema, como pueden ser, materia, energía o información.
- Cerrado** : No intercambian nada con el medio. Son más simples. Las variables que lo determinan son todas endógenas y sus leyes de tipo absoluto. Los sistemas cerrados están orientados a cumplir una función determinada, sin posibilidad de cambio. Si no existe equilibrio, debe transmutarse.

En los tratados de Termodinámica, es frecuente encontrar una tercera clasificación : **el sistema aislado.**

- Por su dimensión** : Microsistema.
Mesosistema.
Macrosistema.

- Por la forma** : reticular, lineal o celular.

- Reticular** : Está compuesto por nodos. Cada nodo se enlaza con una entrada y una salida. Las fuerzas de flujo se desplazan en una sola dirección, de ahí su concepto de **lineal**.
- Celular** : Denominados también **no lineales o disipativos**. En estos sistemas cada nodo dispone

de más de una entrada y una salida, es decir, los nodos se intercambian.

Las fuerzas de flujo pueden darse en todas las direcciones posibles, variando su intensidad o sentido.

Por su evolución : Individual.
Social.
Ecológica.

Por la evolución de su estructura: caótico o sinérgico

Caótico : Su estructura ante fuerzas externas que rebasan cierto límite, se vuelve desorganizada, caótica de modo permanente.

Sinérgico : En este tipo, ante fuerzas externas que lo distancian de su estructura de equilibrio inicial, lo llevan temporalmente a un estado caótico, llamado transición de fase, autoorganizándose luego en una nueva estructura.

Con esta última clasificación, ponemos punto final a una lista de sistemas mucho más extensa. Para nuestro trabajo, con ella es suficiente.

Estructura

De un modo general y dentro del campo de estudio de los sistemas, se entiende por **estructura** ciertas características comunes a varios sistemas. Una estructura es un concepto más abstracto que el sistema. Mosterín añade "que si los sistemas son cosas, las estructuras son la forma de esas cosas –Una cosa puede tener varias formas y un sistema puede tener varias estructuras".

Scur define :

Estructura es un conjunto de elementos jerárquicos entre los cuales existen relaciones. Sistema es un conjunto de conexiones jerárquicas entre los elementos de la estructura dada.

Todos los autores son coincidentes en estos aspectos definitorios de la estructura de un sistema. Así, Delatre remarca que "la estructura expresa la disposición de los elementos de un sistema, mientras que el concepto de sistema hace hincapié en la noción de un conjunto de elementos que interactúan entre ellos".

La estructura tiene un carácter estático, y el sistema lo tiene dinámico.

Conducta

La conducta, denominada también comportamiento del sistema, es la respuesta de éste a su medio circundante, es decir, los procesos, movimientos y fenómenos producidos en el sistema para conservar su estado estructural.

Historia

Al filósofo Jesús Mosterín parece fascinarle la palabra **historia** para analizar el comportamiento de sistemas, teorías, y por ende todo el campo de la investigación filosófica o científica.

Mosterín aclara en primer lugar que el concepto que él utiliza para la **historia** es más amplio que el utilizado habitualmente.

Nosotros vamos a usar la **historia** en un sentido mucho más amplio, que además es su sentido originario. La historia, así entendida, trata de todo tipo de asuntos, humanos o no humanos, y no tiene por qué ser temporal.

En toda ciencia hay un componente histórico y otro teórico, hay historia y teoría.

Jerarquización

En los sistemas complejos compuestos por otros subsistemas se produce una estratificación de niveles. Los subsistemas pueden a su vez estar compuestos de otros subsistemas y así sucesivamente en una **cadena jerárquica** hasta alcanzar un nivel, en que ya no es divisible. En este punto, donde el componente del sistema no admite más subdivisiones, se dice que tal componente es la **unidad básica del sistema**.

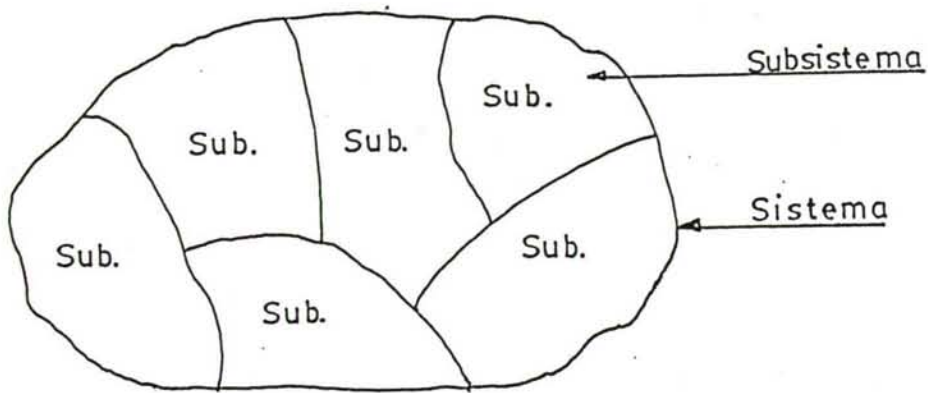


Fig. 2.1

El profesor Voltes Bou, citando a unos expertos en el tema, se hace la siguiente pregunta :

¿Cuáles son las características esenciales de toda jerarquía?.

Dichos autores contestan :

La disposición vertical de los subsistemas que comprenden el conjunto del sistema, la prioridad de acción o del derecho de intervención de los subsistemas del nivel superior y la dependencia de estos subsistemas superiores respecto de la actuación efectiva de los niveles inferiores.

Esto es un hecho que observamos en la vida diaria al observar los sistemas complejos que nos rodean, por ejemplo, en los sistemas sociales organizados a cualquier escala.

La sinérgica prueba matemáticamente cómo en todo sistema organizado surge el fenómeno de unos parámetros de orden, y un "subsistema esclavizado" crea el ordenador sinérgico que organiza el sistema.

Como expresa Voltes Bou :

Es evidente que, aunque la actuación del sistema está orientada de arriba abajo, el éxito del conjunto del mismo depende de la actuación de todas las unidades. Dado que la prioridad de la acción supone que la intervención antecede a las acciones de las unidades inferiores, el éxito de una unidad superior depende de la actuación final de las inferiores. La actuación de éstas puede ser considerada así como un "feedback" y una respuesta a la intervención.

Retroalimentación (Feedback)

Algunos autores denominan "realimentación" a la retroalimentación. Muchos mecanismos necesitan unos aparatos reguladores para mantener ciertas características constantes. El ejemplo del termostato es bien conocido.

Es sobre todo en la Cibernética donde el concepto de retroalimentación, o como se conoce universalmente con el término inglés "feedback", ha tomado su significación.

Un sistema cualquiera, el que hallamos definido como objeto de estudio, posee una frontera. Al igual que se hace en mecánica, en la estática, por ejemplo, para estudiar una parte de un sistema, al aislarlo, tenemos que dotarlo de las ligazones que le unían al todo; sus fuerzas, sus momentos.

Del mismo modo, nosotros, dentro de un universo determinado, podemos aislar un sistema, es decir, subsistema del total, siempre que su contorno o frontera lleve las correspondientes acciones.

El sistema interactúa con su contorno, con entradas y salidas, o en terminología universal, con **inputs** y **outputs**.

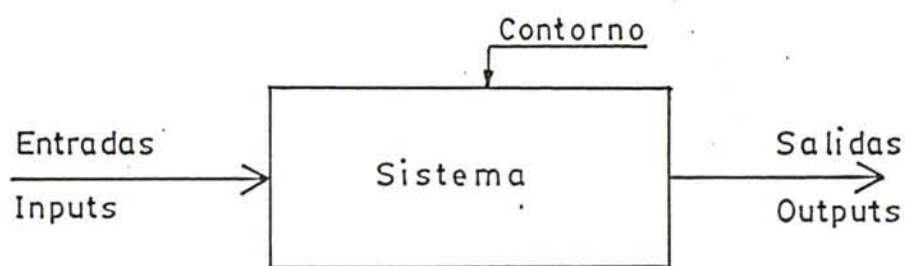


Fig. 2.2

En muchos sistemas, las salidas influyen sobre el comportamiento del sistema. Se dice que existe una retroalimentación o feedback.

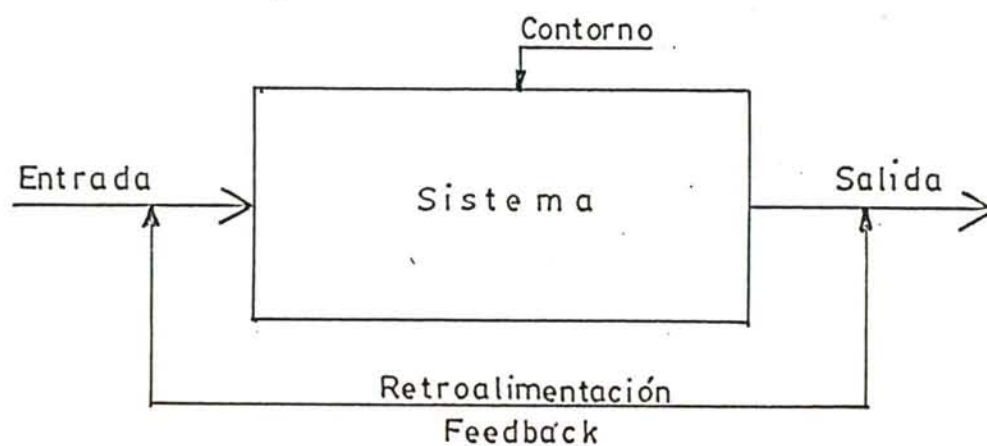


Fig. 2.3

El sistema arquitectural, es decir, el sistema que corresponde a las actividades de la arquitectura y/o el urbanismo, es un sistema con retroalimentación. La arquitectura construida –salida del sistema– está influyendo sobre la arquitectura que se proyecta, es decir, forma parte de una de las variables de entrada al sistema.

Como señalan algunos autores, existen dos clases de feedback : el interno al sistema que no tiene relación alguna con el exterior, es un bucle cerrado interno; y el externo, que es el que habitualmente se maneja, y cruza la frontera del sistema, entrando por el contorno de los inputs.

Otros autores distinguen dos tipos de realimentación :

La negativa, es aquella que regula el sistema y **la positiva**, la que amplifica sus salidas. Las dos se encuentran en todos los sistemas naturales; biológicos, sociales, culturales, etc.

Homeostasis

Voltes Bou define la homeostasis como la tendencia que tiene todo organismo a restaurar su forma y función en el caso de que sea perturbado, y esto lo considera como una característica intrínseca del proceso organizador.

La estabilidad que manifiesta un organismo vivo se debe al conjunto de procesos coordinados para tal fin. Esta acción de control sobre las diversas variables que estabilizan al organismo es la **homeostasis**.

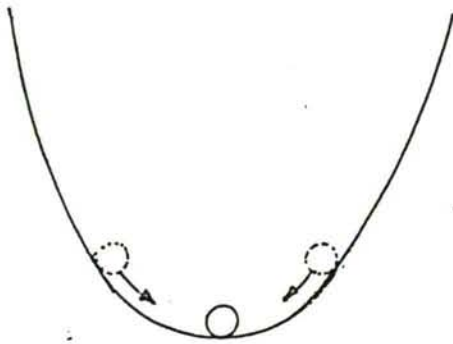
Equilibrio

Las nociones clásicas de equilibrio, que recordamos de la física son :

equilibrio estable.

equilibrio indiferente.

equilibrio inestable.



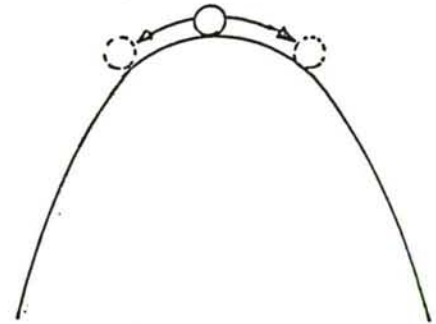
Equilibrio
Estable

Fig. 2.4



Equilibrio
Indiferente

Fig. 2.5



Equilibrio
Inestable

Fig. 2.6

En el **equilibrio estable**, una perturbación del objeto lo separa de su posición de equilibrio, que vuelve a recuperar más tarde.

En el **equilibrio indiferente**, la acción perturbadora desplaza al objeto, el cual se queda en esa posición sin recuperar la inicial.

En el **equilibrio inestable**, la perturbación, aún siendo pequeña, –gran sensibilidad– desplaza el objeto de su posición de origen, la cual ya no recupera.

Hoy en día, este concepto clásico del equilibrio, que siempre tuvo gran importancia, se ha enriquecido extraordinariamente en la nueva visión de las Ciencias de la Complejidad. Tanto es así, que se podría afirmar que nacen de aquí: del equilibrio/desequilibrio; estabilidad/inestabilidad de sistemas; y más concretamente de la Termodinámica del desequilibrio, que permite llegar a uno de los descubrimientos más importantes de este siglo :LA AUTOORGANIZACIÓN.

El concepto de equilibrio, que habitualmente asociamos con la mecánica, en realidad se extiende por todos los campos del conocimiento :ciencia, arte, filosofía, cultura, sociedad, etc. En la teoría de los sistemas es fundamental.

Siguiendo con el simil de la mecánica, existen distintos grados del equilibrio o del desequilibrio.

Gráficamente se representan en la figura 2.7 por una bola, situada en la materialización de una pista curvilínea, o recta, sometida a la acción de la gravedad.

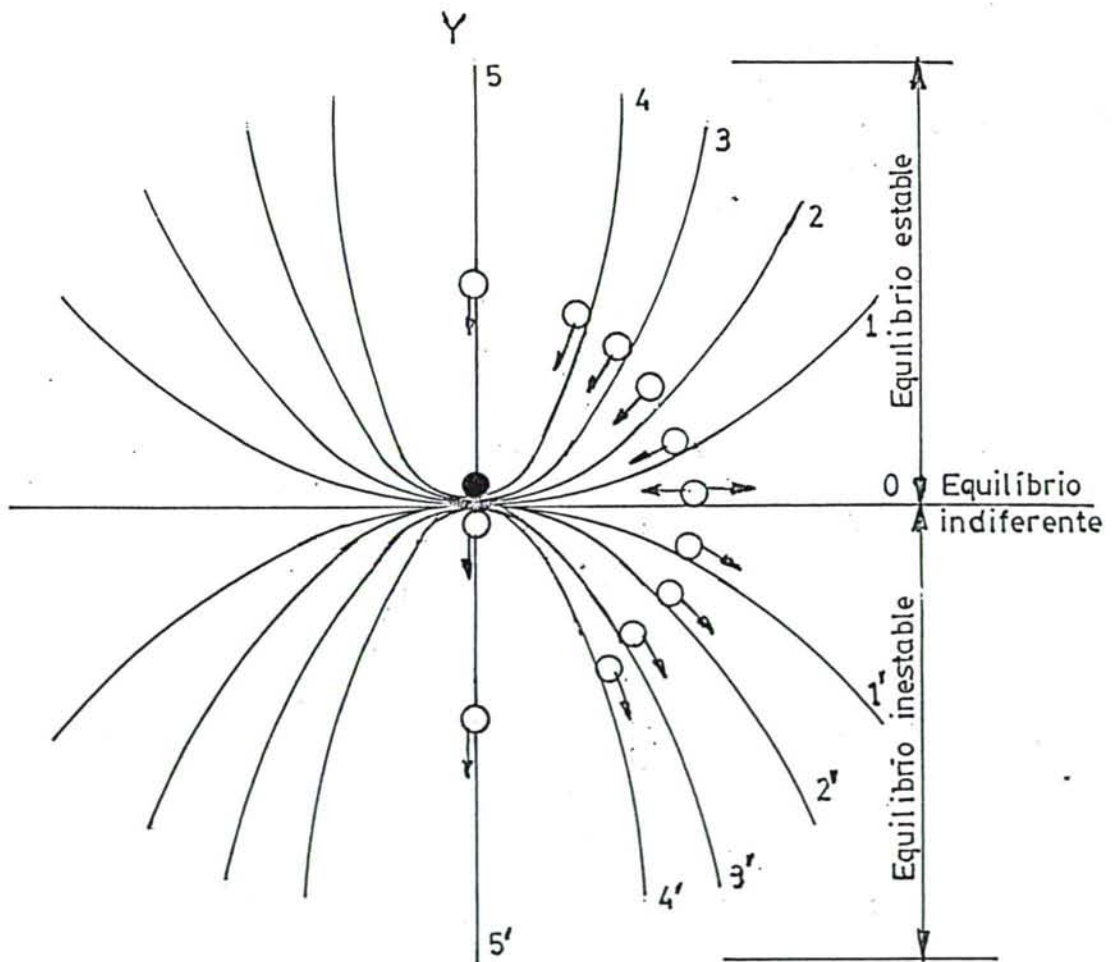


Fig. 2.7

Grados de estabilidad/inestabilidad

El grado de equilibrio o desequilibrio se medirá por la rapidez con que el objeto recupera o se aleja de la posición inicial de equilibrio, ante una acción perturbadora.

Una bola situada en la pista 1, si la desplazamos 1 metro, tarda más que si la desplazamos la misma longitud estando situada en la pista. Igual fenómeno sucede con la condición de equilibrio inestable o desequilibrio. La gradación será de un mismo valor 0, equilibrio indiferente, a un máximo valor 5, situado en el eje vertical.

En cualquier sistema en que se estudia su situación de equilibrio, o estabilidad, al plantar su correspondiente ecuación diferencial, y deducir los máximos o mínimos de su energía potencial, que se representan en una trayectoria, ésta nos manifestará ese grado de equilibrio o desequilibrio.

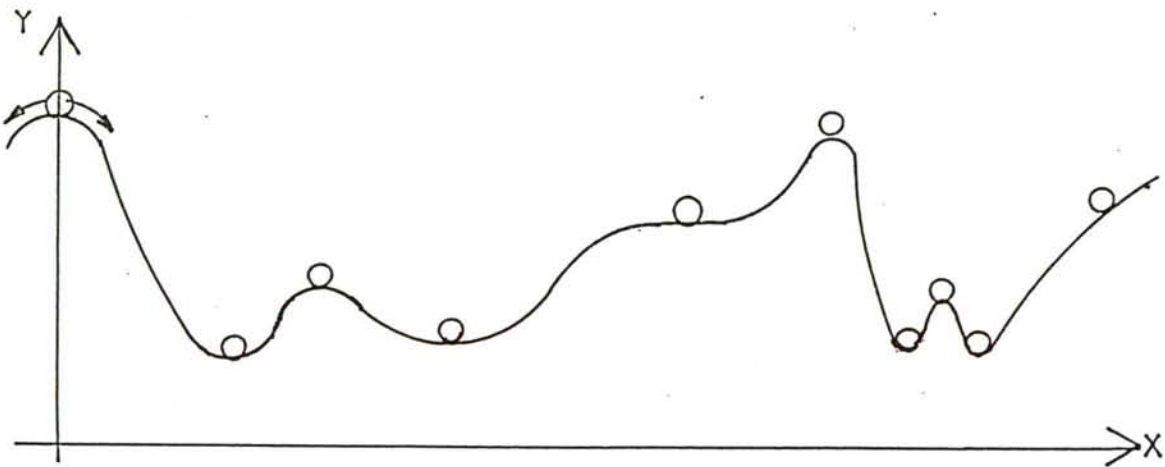


Fig. 2.8

Estados de estabilidad/inestabilidad a lo largo de una trayectoria

En la figura 2.8 se indica la trayectoria que sigue la bola, mostrando las diversas situaciones de equilibrio, estable, inestable e indiferente, donde se aprecia además su grado de intensidad.

Estabilidad

Al hablar de equilibrio, necesariamente tenemos que hablar de estabilidad. No sólo nos interesa que una situación determinada se muestre equilibrada, queremos saber también qué garantía muestra ese equilibrio, es decir, si es estable, inestable o indiferente.

El estudio de la **estabilidad de sistemas** ha preocupado siempre a los científicos, los que lo tomaron muy en serio fueron el matemático francés Henri Poincaré y el ruso A.M. Lyapunov. Ambos vivieron en la misma época, segunda mitad del siglo pasado y comienzos del actual. Dado que para el estudio de la estabilidad se las tenían que ver con ecuaciones diferenciales, ambos también impulsaron extraordinariamente el desarrollo de la teoría de las ecuaciones diferenciales. Los problemas de la estabilidad de los sistemas se plantean cuando éstos son dinámicos, o sea, cuando manifiestan variaciones en el tiempo. Y estos problemas aparecen, por lo tanto, allí donde haya cambio, por lo tanto en física, química, biología, sociedad, cultura, ecología, etc.

Habitualmente, las ecuaciones diferenciales que se plantean para resolver la estabilidad de sistemas suelen ser no lineales, y el escollo es prácticamente insalvable, ya que muy pocas ecuaciones de este tipo se pueden resolver.

El ingenio y genio de Poincaré y Lyapunov consistió en el hallazgo de unos métodos que permitían estudiar la estabilidad sin necesidad de resolver la ecuación diferencial. Simultáneamente, ambos matemáticos coinciden en la utilización de **métodos cualitativos**.

Los métodos de Poincaré eran esencialmente geométricos, o para ser más exactos, **topológicos**.

Así nace una nueva rama de las matemáticas : La Topología, que si bien la había iniciado Euler, quien realmente la estructura y le da toda su fuerza, es Poincaré.

Por métodos **cualitativos** se entienden aquellos que permiten ver si existen soluciones, cuántas, dónde están las singularidades del sistema, sin necesidad de resolución numérica.

Más adelante hablan de la Teoría de las Catástrofes, que es una teoría básicamente topológica; tendremos ocasión de ver estos enfoques cualitativos tipificados, que parecen resolver cuestiones de la Ciencia de la Complejidad.

Lyapunov también utiliza los métodos cualitativos, pero no a través de una "geometría de goma" como algunos autores denominan a la Topología, sino enfocando el aspecto de la linealización de las ecuaciones diferenciales, pero no por la simplificación de eliminar de todos los términos no lineales de las ecuaciones diferenciales ordinarias.

$$\frac{dx_i}{dt} = F_i (x_1, x_2, x_3 \dots x_n, t) \\ (i = 1, 2, 3 \dots n)$$

desarrollando en series convergentes los F_i , con potencias enteras de x_k y valores pequeños de x_i , con:

$$F_i (0, 0, \dots, 0) = 0$$

La teoría de la estabilidad de Lyapunov investiga con rigor cuándo la linealización de soluciones al problema planteado de la estabilidad y cuándo dicha

linealización no es suficiente.

El tema de la **estabilidad** es central en la Teoría de Sistemas Dinámicos, y de la máxima actualidad. Es frecuente encontrarse en lecturas sobre estos temas que empiezan a ponerse de moda, tales como caos, fractales, no linealidad, etc. que nos mencionan las famosas funciones de Lyapunov.

Como sabemos, el estudio de la estabilidad pasó del mundo físico al mundo formal de la matemática. En los estudios de las **ecuaciones diferenciales** algo serios, aparece un capítulo dedicado a la **teoría de la estabilidad**, donde se estudia la estabilidad de las soluciones de la ecuación. Y ahí nos encontramos de lleno con Lyapunov, sus métodos, teoremas, criterios. También nos encontramos con otros autores como Lagrange, Rauss, Hurwitz, Mijailov, etc.

La terminología en ese capítulo será : estabilidad asintótica, puntos de reposo, puntos críticos, trayectoria, no linealidad, cuadro de fases, nodo, puerto, foco, inestabilidad, etc. Y nos encontramos con gráficos parecidos a éste:

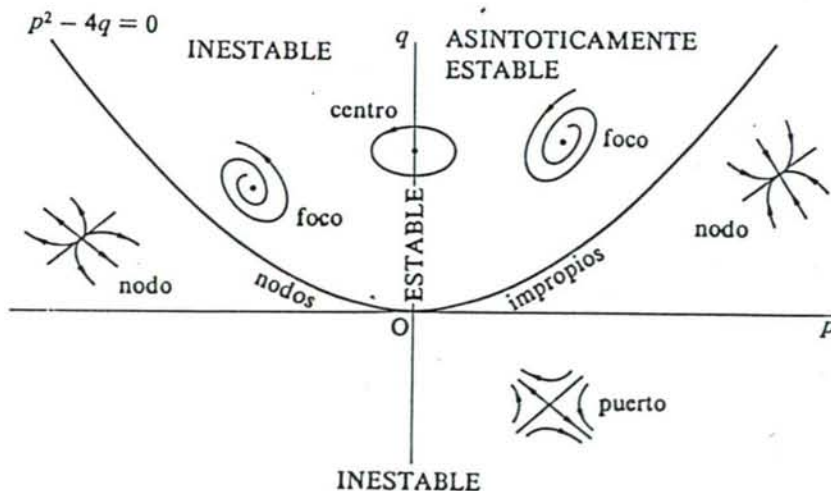
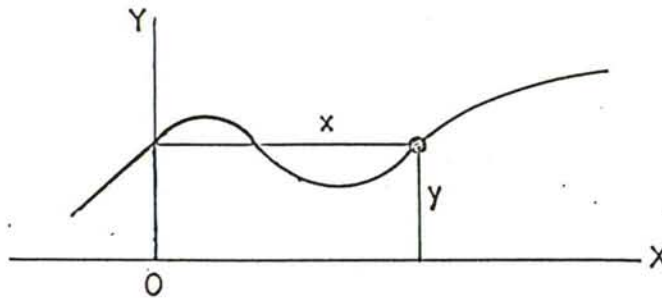


Fig. 2.9

El **método directo de Lyapunov** consiste en asociar un sistema de ecuaciones diferenciales a la trayectoria de un sistema material, conservador, en el cual haya coincidencia en un punto crítico y en una posición de equilibrio. La comparación con el sistema material lleva a la asociación de energía potencial; sin variación en el estado de equilibrio, la energía potencial es mínima, y según el teorema de Lejeune, si la energía total es constante o disminuye, podrá inferirse que el correspondiente punto crítico del sistema de ecuaciones es estable.

Supongamos un sistema general, definido en el plano de las coordenadas cartesianas.



O X Y = plano de fases.

Fig. 2.10

Partamos de un sistema de la forma, donde las velocidades vienen expresadas de este modo :

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= F(x, y) \\ \frac{dy}{dt} &= G(x, y)\end{aligned}\tag{2.1}$$

Las funciones de F y G cumplen las condiciones del teorema de existencias y unicidad, en cada punto del entorno \mathcal{E} definido en el plano OXY.

El sistema se denomina **autónomo**, si las funciones de F y G, son independientes del tiempo t.

La **trayectoria** del sistema es aquella curva situada en el plano de fases OXY, tales que dada una solución del dominio \mathcal{E} , existe una solución única.

$$\begin{aligned}x &= x(t) \\ y &= y(t)\end{aligned}$$

en el punto $x(t_0) = x_0$, $y(t_0) = y_0$ tal que $x(t)$ e $y(t)$ no son funciones constantes.

Los **puntos críticos o singulares**, son aquéllos en que se cumple que:

$$F(x_0, y_0) = 0 \quad \text{y} \quad G(x_0, y_0) = 0$$

En los puntos críticos el sistema (2.1), la solución constante $x = x_0$ e $y = y_0$ es la única admitida.

Se infiere de ello que por un punto crítico no pasa ninguna trayectoria.

Se definen como puntos **críticos aislados** aquéllos en cuyo contorno no se encuentra ningún punto singular.

La **función de Lyapunov** se define como sigue : Partimos de que la función $A(x, y)$ en derivadas parciales de primer orden continuas, lo cual implica situarse en la trayectoria T y el origen (0,0).

Si para todo entorno del origen $(x, y) \neq (0,0)$ se cumple que $A(0,0) = 0$ y $A(x, y) > 0 \Rightarrow A$ es **definida positiva**, y si $A(x, y) < 0 \Rightarrow A$ es **definida negativa**.

Y también, si bajo las mismas condiciones anteriores $A(x, y) \geq 0$, implica que A es **semidefinida positiva**, y si $A(x, y) \leq 0 \Rightarrow A$ es **semidefinida negativa**.

Si ponemos la derivada $\frac{dA}{dt}$ a lo largo de la trayectoria T, como una derivada de la función $A[(x) t, y(t)]$, respecto de:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{\partial A}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial A}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} = \frac{\partial A}{\partial x} F + \frac{\partial A}{\partial y} G \quad (2.2)$$

Si la (2.2) es semidefinida negativa, y la función A (x, y) es definida positiva, entonces ésta representa una **función de Lyapunov** del sistema (2.1).

De ésto se deduce que una función de Lyapunov, en un entorno del origen, no crece a lo largo de las trayectorias del sistema.

Debemos mencionar un importante **Teorema de Lyapunov** :

Si existe una función de Lyapunov A (x, y) para el sistema (2.1), el punto crítico (0,0) es estable, Si además, la función (2.2) es definida negativa, el punto crítico (0,0) es asintóticamente estable.

En la asociación que Lyapunov hacía del sistema de ecuaciones diferenciales con el móvil material, el sistema (2.1) se asimila a la energía total en el sistema material.

Orden

La ciencia que trata de los sistemas complejos, además del problema del binomio estabilidad/inestabilidad, se interesa por los relacionados con el otro binomio orden/desorden. Ambos tienen similitudes, pero también diferencias.

Puede haber orden inestable y desorden estable.

El **orden** es otro término que hace acto de presencia, no sólo en la vida

diaria, sino en todas las disciplinas que abarcan un conocimiento del mundo.

El orden se remonta a los mismos orígenes de la humanidad. Como nos informa el antropólogo francés, en el citado libro **El Desorden. La Teoría del Caos en las Ciencias Sociales**, en el capítulo primero, con el título significativo: **El mito proclama el orden primordial.**

Dice Balandier :

La ciencia quiso primero la muerte del mito, como la razón la desaparición de lo irracional.

El pensamiento científico plantea las preguntas, el pensamiento mítico da las respuestas, las explicaciones que no se sitúan evidentemente en el mismo registro que la interrogación erudita. Son dos usos de la razón, dos procedimientos que permiten poner orden e inteligibilidad en el universo y llegar a este último mediante "relatos" absolutamente distintos por su modo de producción, por la lógica, la autoridad y la inscripción en la duración que les son propias. El relato científico es corregible y corregido. El relato mítico, una vez establecido, requiere una perennidad y no varía realmente sino manteniendo sus apariencias, su forma; se inscribe en una tradición, echa raíces, y es la migración lo que provoca sus metamorfosis en otros lugares.

La matemática, especialmente la moderna, en la teoría de conjuntos, tiene las denominadas **relaciones de orden.**

La física, con la famosa **entropía**, que el físico vienés Ludwig Boltzman, relacionó maravillosamente como una medida del **desorden**, introduce la **probabilidad** en la física; más tarde, los modernos (sobre todo los cuánticos) revolucionarán este aspecto.

A partir de Boltzman, se pasaría paulatinamente de una concepción mecanicista del mundo, basada en las leyes de Newton, a la concepción termodinámica, que postulaba la "**muerte térmica**" del universo ¡cuanta filosofía giró sobre el famoso **Segundo Principio de la Termodinámica y la entropía!**.

Clasius define la entropía, que es una función de estado, entre un estado inicial 1 y otro final 2, en un proceso reversible, por:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad ; \quad dS = \frac{dQ}{T}$$

La entropía es una propiedad intrínseca de la materia, siendo función, por consiguiente, del estado y naturaleza del cuerpo.

Boltzman encontró la relación:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = k \ln \frac{W_2}{W_1} \quad (2.3)$$

$$\text{Constante de Boltzman} : k = \frac{R}{N_A}$$

$$\text{La (2.3), se puede escribir } S = k \ln W \quad (2.4)$$

W = Número de microestados de un estado macroscópico dado = probabilidad termodinámica.

lo cual indica que en el equilibrio termodinámico de un sistema aislado se verifica que la probabilidad termodinámica es máxima.

La fórmula hallada por Boltzman pone de manifiesto que el segundo principio es una ley estadística.

Clausius define la entropía macroscópicamente, la definición de Boltzman es microscópica.

La fórmula de Boltzman dio lugar a muchas interpretaciones filosóficas. Aclara el comportamiento espontáneo de los sistemas desde un estado menos probable a otro más probable, no sólo para los campos de la física y química, sino también para los políticos, sociales, económicos, etc.

Si la **entropía** mide el grado de desorden, la **neguentropía** mide el del orden. El término fue acuñado por Briollin.

El físico vienés Erwin Schrödinger, en su libro *¿Qué es la vida?*, observa que con el aumento de organización de un organismo se produce un descenso de entropía, es decir, que en un balance entrópico, la diferenciación de los organismos conlleva disipar más entropía de la que producen, o lo que es lo mismo, los organismos vivos sustraen orden a su ambiente. De ahí el término neguentropía o entropía negativa. Esto contradice el segundo Principio de la Termodinámica, aunque en realidad no existe tal contradicción, ya que este principio se aplica a sistemas aislados, y los organismos vivos son sistemas abiertos.

Sobre el concepto de orden se han vertido ríos de tinta. Así, el físico David Bohn dedica dos obras : " **La totalidad y el Orden Implicado**", y " **Ciencia, Orden y Creatividad**" a exponer maravillosamente diversos conceptos de orden, sobre todo el nuevo concepto de **orden implicado**. E.H. Gombrich, en su obra " **El sentido de Orden**", analiza desde la psicología el aspecto del orden en las artes decorativas.

Caos

El término orden nos sugiere su antónimo, desorden o caos. Desde las últimas décadas, la ciencia abordó el estudio del caos, encontrando en éste gérmenes de orden.

El físico americano Mitchell Feigenbaum, en el Centro de Estudios No Lineales, en Los Alamos, trata de descifrar el complejo mundo de los fenómenos caóticos. Estos estudios se habían iniciado en la década de los 60. Científicos de las más diversas ramas del conocimiento, físicos, químicos, biólogos, sociólogos, ... están interesados por sorprendentes descubrimientos que se abren en esta nueva disciplina, que algunos ya bautizaron con el nombre de **Caología**.

James Gleick, en su obra de reciente publicación **Caos**, afirma :

Los defensores más encendidos de la nueva ciencia llegan al extremo de declarar que el saber del siglo XX se recordará por tres cosas : la relatividad, la mecánica cuántica y el caos. El último, sostienen, se ha transformado en la tercera gran revolución de la ciencia física en esta centuria. Con las dos anteriores, el caos propina un buen tajo a los dogmas newtonianos.

En realidad, el fenómeno del caos cae bajo el estudio de las denominadas Ciencias de la Complejidad, que desde distintos o similares métodos, intentan poner de relieve el orden complejo que se esconde en muchos fenómenos, a los que hace un par de décadas no se prestaba demasiada atención. Entre estas Ciencias de la Complejidad, aparte de la Teoría General de Sistemas, están la Caología, Sinérgica, la Teoría de las Energías Disipativas, la Teoría de las Catástrofes y los Fractales y la Percolación.

Pero, si bien el estudio del caos es reciente, como sucede con todas las ramas del saber siempre existen unos antecedentes más o menos lejanos. Ahí tenemos al matemático francés **Henri Poincaré** (1854–1912) que de Ingeniero de Minas pasó a llevar en la Sorbona las cátedras de : Cálculo de Probabilidades, Mecánica–Física; Mecánica–Celeste y Física–Matemática. Este científico, que Einstein tanto admiraba, llega a dudar de la "férrea" estabilidad del sistema solar. Aborda el famoso **problema de los tres cuerpos**. Dice Poincaré, que el **sistema de dos cuerpos**, por ejemplo el Sol y la Tierra, se estudia correctamente con la mecánica newtoniana, si se idealizan los efectos, o mejor se prescinde de ellos, en el resto de los planetas y sus satélites.

Al estudiar tres cuerpos interactuando, Sol–Tierra–Luna, las ecuaciones de Newton se vuelven insolubles. Pero es más, sus cálculos demostraban que una perturbación mínima en alguna de las órbitas del sistema solar podría ocasionar resultados catastróficos, e incluso el acelerón provocado por un tercer cuerpo tenía la posibilidad de arrancar al planeta del sistema solar.

J. Briggs y F.D. Peat, en su obra publicada hace dos años, "**Espejo y Reflejo**", afirman :

Poincaré había arrojado una bomba anarquista al modelo newtoniano del sistema solar y amenazaba con destruirlo. Si estas curiosas órbitas caóticas eran posibles, todo el sistema solar podía ser inestable.

Poincaré reveló que el caos, o el potencial para el caos, es la esencia de un sistema no lineal, y que para un sistema completamente determinado como los planetas en órbita, podía tener resultados indeterminados. En cierto sentido había visto que la realimentación podía magnificar los efectos más pequeños. Había advertido que un sistema simple podía estallar en una perturbadora complejidad.

Estos pequeños efectos de realimentación nos son conocidos. Si un ejército cruza un puente, las tropas rompen filas para evitar el efecto de resonancia vibratoria que podría provocar su derrumbamiento. Otro ejemplo muy conocido es el del Botafumeiro de la Catedral de Santiago de Compostela. Pequeños tirones rítmicos elevan el Botafumeiro hasta el techo.

Como señalan Briggs y Peat en la citada obra :

La consecuencia inmediata del descubrimiento de Poincaré fue un cuestionamiento del majestuoso paradigma newtoniano, que había servido a la ciencia casi dos siglos. Este resultado tendría que haber producido una oleada de actividad en la física, pero no ocurrió demasiado porque la historia seguía otro rumbo.

Con Boltzman, que introduce la probabilidad en la física, la mecánica cuántica fue toda ella fundada en la probabilidad, sin que por ello deje de ser una de las teorías más sólidas y con un gran poder de predicción. Ésta, junto con la teoría de la relatividad, socavan esos cimientos sólidos de la mecánica newtoniana y con ello el **determinismo**. Como afirma Prigogine, uno de los padres de las Ciencias de la Complejidad, el determinismo no es lo habitual en la naturaleza, sino la excepción.

El estudio del Caos entra también de lleno en la Sinérgica. Hermann Haken le dedica una publicación: **Chaos and Order in Nature**.

Aleatoriedad

Si los estudios del Caos encuentran en sus entrañas reductos de orden, algunos autores proponen matizaciones para diferenciar este caos de un desorden total. El

neurobiólogo Walter J. Freeman, en un artículo publicado en Investigación y Ciencia, abril de 1991, titulado **Fisiología de la percepción**, enfocado bajo una óptica sinérgica, distingue entre **caos y aleatoriedad**.

Ejemplifica esto con el movimiento de una multitud en una estación ferroviaria en una hora punta. Una persona observadora vería una multitud que se agita de un lado a otro, sin orden ni concierto. Sin embargo, a intervalos espaciados en el tiempo, grupos de personas se dirigen a un determinado tren. En esa algarabía, existía un orden subyacente. Esto sería **el caos**.

El anuncio de la colocación de una bomba en la estación aterrorizaría a la muchedumbre, y ningún aviso de toma de tren tendría efecto alguno. El movimiento de desconcierto de la gente sería un estado de **aleatoriedad**.

En arquitectura, supongamos que cada arquitecto proyecta con un estilo particular. El sistema arquitectural, reflejado en la obra construída, mostraría una total falta de unidad. Estaríamos en una situación de **estado aleatorio** del sistema.

La sinérgica nos demuestra que una situación de este tipo es muy improbable que ocurra.

Si tenemos múltiples grados o grupúsculos de arquitectos que proyectan bajo ideas o teorías afines dentro de esos grupos, la situación puede ser **caótica**, sobre todo si la multivariedad coincide en localidades determinadas.

El sistema arquitectural tiende a un estado ordenado cuando las tendencias se reducen. Todo esto lo veremos en el capítulo dedicado al análisis sinérgico de la arquitectura.

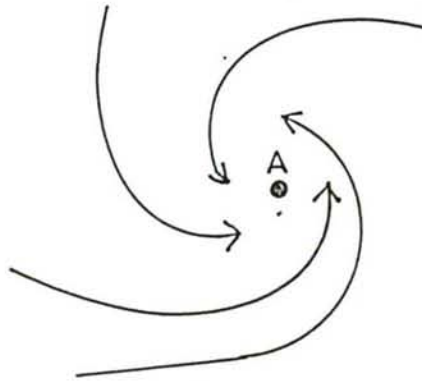
Atractores

Otro concepto importante utilizado en el estudio de la estabilidad de los sistemas dinámicos es el atractor. Éste se define como aquel lugar del espacio que **atrae** a todos los movimientos que se producen en sus cercanías. En realidad, no existe fuerza alguna de atracción, sino que es una tendencia espontánea de dirección hacia un lugar.

Dada una trayectoria $x(t)$, si se cumple:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = X_0$$

entonces X_0 es un punto que atrae al movimiento $x(t)$.



Atractor A

Fig. 2.11

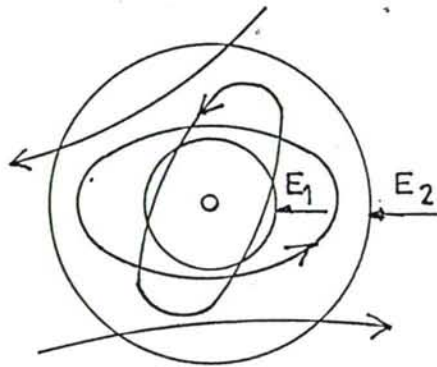
Los atractores significan estados de equilibrio con un alto grado de estabilidad. Las perturbaciones provocadas al sistema en las proximidades del atractor, modificarán su estado de un modo leve, recuperando más tarde una posición próxima al equilibrio.

También se dice que el sistema que posee un atractor es **asintóticamente estable**, o **estable en sentido fuerte**.

Los puntos de equilibrio **estable**, o **simplemente estable**, tienen la propiedad de que los movimientos que se producen en sus proximidades se mantienen cerca de él.

Si E_1 es una zona contenida en E_2 , un punto X_0 poseerá equilibrio estable si se cumple:

$$x(0) \in E_1 \Rightarrow x(t) \in E_2 \text{ para } t > 0$$



Punto de equilibrio estable

Fig. 2.12

El equilibrio es **inestable**, si para:

$$x(0) \in E_1 \Rightarrow x(t) \notin E_2 \text{ para } t > 0$$

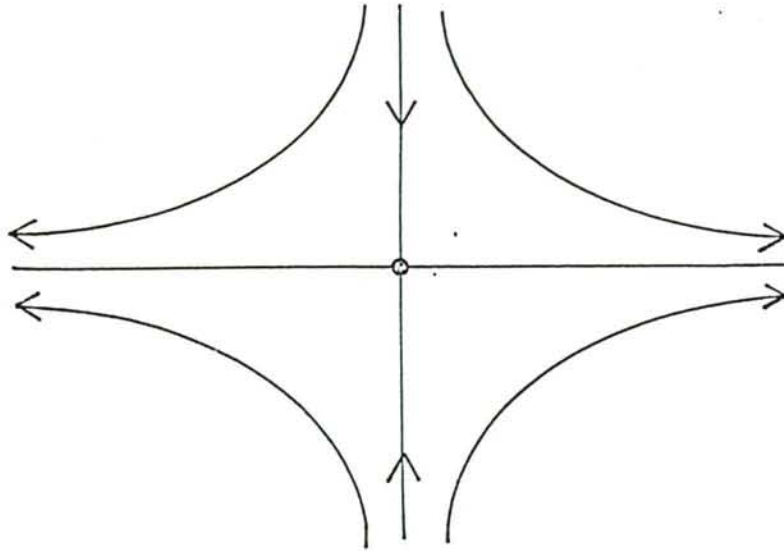


Fig. 2.13

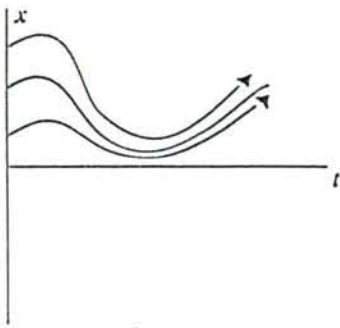
es decir, las trayectorias, al ser perturbadas, se alejan de la zona de equilibrio.

Existen varios tipos de atractores, que se han puesto de manifiesto al estudiar la estabilidad de los más diversos sistemas. Esos atractores pueden ser un punto, una recta, un círculo, una curva cualquiera, tomando denominaciones entonces de atractores extraños, fractales, caóticos, etc.

Las definiciones de estabilidad dadas anteriormente corresponden al **caso estático**, según los nuevos conceptos de la dinámica no lineal, al tomar como referencia un punto de equilibrio.

El **caso dinámico** considera la estabilidad de las trayectorias respecto a otra tomada como referencia. Se habla entonces de **estabilidad orbital** o **estabilidad en el sentido de Poincaré**.

Al igual que para el caso estático se dan las tres situaciones de **simplemente estable**, **estable en el sentido fuerte** o **asintóticamente estable e inestable**.



Trayectoria estable

Fig. 2.14

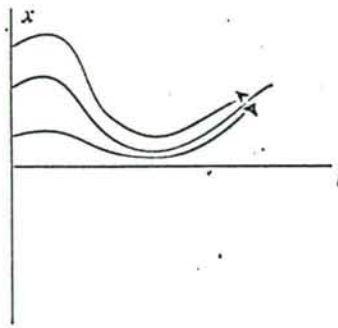
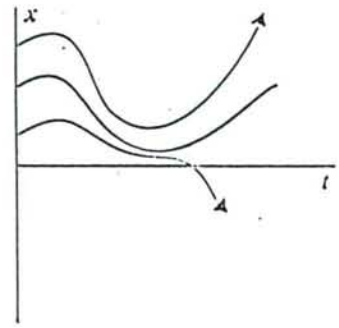
Trayectoria
asintóticamente
estable

Fig. 2.15



Trayectoria inestable

Fig. 2.16

En la trayectoria estable, todas las trayectorias próximas permanecen próximas en el futuro. Las asintóticamente estables tienden a converger en el futuro, y las inestables a divergir.

Cuenca de atracción. La región del espacio de las fases en las que penetran las trayectorias que tienden hacia el atractor, se denomina **cuenca de atracción**.

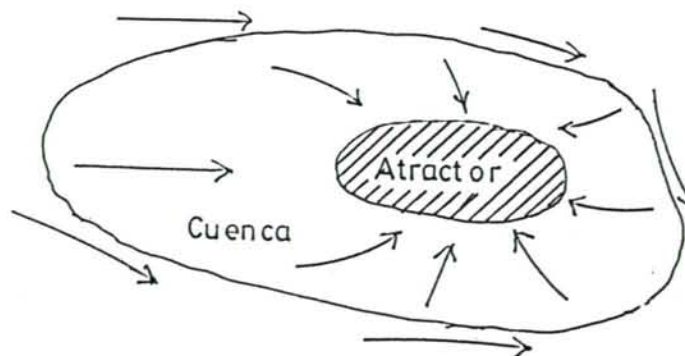
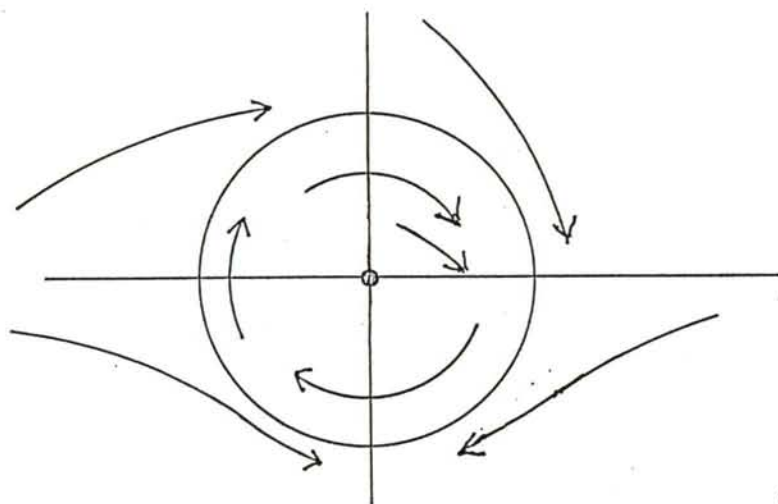


Fig. 2.17

Cuenca y atractor

Las trayectorias que rebasan la frontera de la cuenca terminan en el atractor. Se dice entonces que el sistema se olvida de las condiciones iniciales.

El ciclo límite de Poincaré. Como se dijo anteriormente, el atractor puede tener otras formas que las del punto de equilibrio. Tal es el caso de este **ciclo límite de Poincaré**, que representa el **equilibrio dinámico** de sistemas con movimientos periódicos estables. La circunferencia es el atractor, y la cuenca todo el plano excepto el origen (el centro, que es inestable):



Ciclo límite

Fig. 2.18

Otros atractores. Según el teorema de Poincaré–Bendixson, los atractores en los sistemas dinámicos de segundo orden (sistema de dos variables que dependen del tiempo), bajo condiciones muy generales, sólo son puntos o ciclos límites.

Si el espacio de las fases es superior a dos dimensiones, entonces se originan fenómenos complejos, como combinaciones de estabilidad conjunto con inestabilidades internas. En estos casos surgen los **atractores caóticos extraños**,...

A. Rañada en su **Dinámica clásica**, dedica dos capítulos a la **dinámica no lineal**, dando la definición del **atractor extraño (AE)**, a través de sus principales características :

- 1) Es un atractor, es decir, una región acotada del espacio de las fases que atrae las trayectorias que en $t = 0$ están en cierta cuenca.
- 2) En su interior, hay sensibilidad frente a las condiciones iniciales (efecto mariposa). Esto significa que las trayectorias próximas se separan exponencialmente, por lo que uno de los exponentes de Liapunov y la entropía de Kolmogorov son positivos.
- 3) Es estructuralmente estable y genérico, lo que quiere decir que, ante cambios infinitesimales de los parámetros de la ecuación, no desaparece, y que su dimensión cambia continuamente.
- 4) Frecuentemente se definen por su propiedad más espectacular, su dimensión fractal. Pero no se debe descartar que haya atractores extraños con dimensión entera.

Los atractores extraños, al igual que otros atractores, sólo surgen en los sistemas disipativos en los que se produce contracción en el espacio de fases. Si el sistema es continuo, entonces los atractores extraños surgen cuando la dimensión es mayor que 2. En los sistemas discretos no existe limitación alguna.

En la dinámica no lineal suelen citarse como ejemplos modélicos de atractores extraños el de Hénon y el de Lorenz, llamado mariposa por su forma. De ahí "el efecto mariposa", que indica la gran sensibilidad del sistema a las pequeñas perturbaciones.

En el capítulo VIII, insistiremos sobre el bello atractor de Lorenz, al hablar de los "atractores" del sistema arquitectural. No obstante, dejamos aquí una pequeña referencia del mismo.

Como es sabido, el meteorólogo Edward Lorenz, perteneciente al Instituto

Tecnológico de Massachusetts, publica un artículo en 1963, dando cuenta de su famoso hallazgo.

En sus estudios de la atmósfera, Lorenz encuentra para su modelo disipativo el sistema.

Como simplificando el sistema de ecuaciones de Navier–Stokes de la mecánica de fluidos, la de la conducción del calor y la de continuidad, todas ellas en derivadas parciales, no lineales y de difícil resolución, Lorenz obtiene el siguiente sistema de tres ecuaciones diferenciales ordinarias :

$$\dot{X} = -\nabla X + \nabla Y$$

$$\dot{Y} = -XZ + rX - Y$$

$$\dot{Z} = XY - bZ$$

siendo:

$$\nabla = \frac{\mu}{\rho k} = \text{número de Prandtl} = \text{constante.}$$

donde μ = viscosidad; ρ = densidad; k = conductividad térmica.

$b = \frac{4}{1+a^2}$; a = factor que relaciona la anchura con la altura de los rodillos de la convección de Bénard.

r = parámetro de control, proporcional al incremento de temperatura, ΔT .

Resuelto el sistema y analizadas las soluciones, se encuentra que:

- a) $0 < r \leq 1 \Rightarrow$ solución estacionaria estable $X = Y = Z = 0$

En este caso el fluido está en reposo y el calor se transmite por conducción.

- b) $r > 1$. El sistema es inestable con dos situaciones de equilibrio con las coordenadas siguientes :

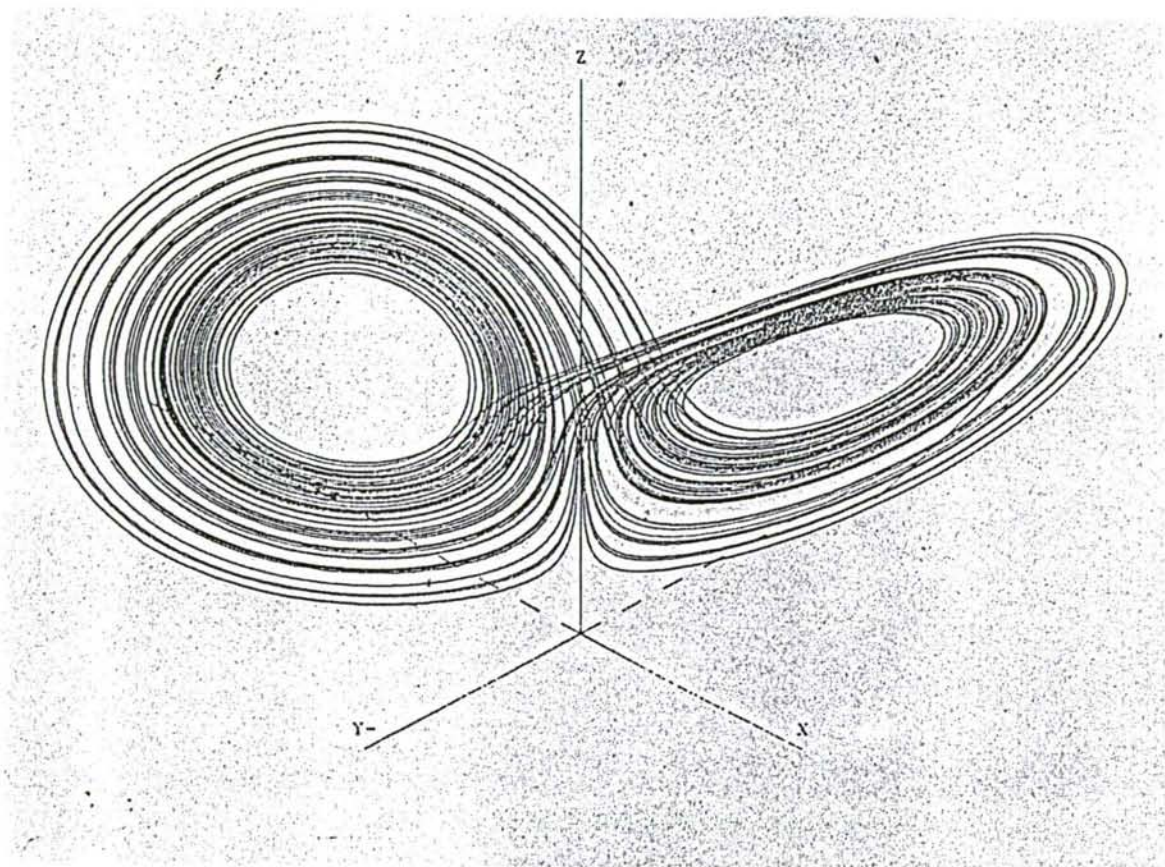
$$X = Y = \pm \sqrt{b(r-1)} ; Z = r-1$$

Esos puntos de equilibrio forman un atractor. Las trayectorias tienen convergencia asintótica hacia el atractor.

- c) $24,06 < r < 30,1$. Existe un atractor extraño.

Existen dos puntos de equilibrio entre 24,06 y 24,74. Para $r \geq 24,74$, el sistema es inestable.

- d) $r > 30,1$. Sistema inestable con alternancia de atractores periódicos y extraños.



Atractor de Lorenz

para $r = 28$

Fig. 2.19

Con $r = 28$, el sistema oscila alrededor de los dos estados donde se produce la convección de rodillos que giran en sentidos opuestos.

LA TEORIA GENERAL DE LOS SISTEMAS

Consideraciones históricas

Realizada la exposición de los conceptos básicos de los sistemas, trataremos de resumir y esquematizar la Teoría General de Sistemas.

El padre de esta teoría es el biólogo vienés **Ludwig von Bertalanffy** (1901–1972), profesor de biología en la Universidad de Viena; se trasladó en 1949 a Canadá y Estados Unidos, donde ejerció la docencia.

En el libro "**Perspectivas en la Teoría General de Sistemas**", de Bertalanffy, publicado después de su muerte –al ser rescatado de su archivo por su discípulo predilecto Erwin Laszlo, director del Instituto para la Enseñanza y la Investigación de las Naciones Unidas–, en su prólogo fechado en 1974, la viuda, María von Bertalanffy dice : "quisiera expresar mi gratitud a Erwin Laszlo y a Edgar Taschdjian; Erwin hizo posible la materialización de los deseos de mi marido. Era tal vez el más indicado, ya que Ludwig le consideraba como un filósofo y científico de enorme potencial y talento".

En el mismo prólogo, interviene Laszlo : "Con la muerte de von Bertalanffy, el 12 de Junio de 1972, desaparecía de la escena intelectual contemporánea una de sus mentes más portentosas : un científico doblado de hombre renacentista. Ese día estuvo preñado para mí de una doble significación, ya que además de coincidir con la celebración de mis cuarenta años, esa misma tarde impartía yo en Suecia como profesor invitado del Instituto de Teoría de la Ciencia de la Universidad de Gotemburgo, un seminario en que trataba sobre el papel de la teoría general de sistemas desarrollada por von Bertalanffy en el aspecto de la ciencia contemporánea".

Hemos destacado estos hechos por dos motivos. El primero, para resaltar la importancia que la Teoría General de Sistemas ha tomado en el ámbito internacional. El profesor Pedro Voltes Bou, que es el primero en publicar en el mundo hispanoparlante una obra sobre la Teoría General de Sistemas, con ese título precisamente, manifiesta que en España no provocó pasión alguna esta importante disciplina del conocimiento. Nosotros tendríamos que añadir que lo mismo sucede en la Sinérgica, ya que sólo existe una obra de Haken traducida al castellano.

El segundo aspecto por las que se destacan las citas de la Sra. von Bertalanffy y Laszlo, es para poner de relieve no sólo la estrecha relación que mantuvieron las dos familias de científicos, sino también para mostrar continuidad en la Teoría General de Sistemas, enriquecida por los nuevos descubrimientos, y que la personalidad de Laszlo enfoca con atinado rumbo. De este científico hablaremos más adelante. En su obra "**La Gran bifurcación**", dice cosas muy interesantes sobre la encrucijada en que se encuentra la Humanidad, destacando no sólo su crítica constructiva de toda la problemática actual, sino la propuesta de soluciones. Erwin Laszlo no ve otra salida, después de tantas doctrinas y teorías utópicas que cayeron en el más estrepitoso de los fracasos, que una **Alianza Holística**. Dice Laszlo :

La alianza holística debería vincular a una ciencia integradora y que dé importancia a la experiencia humana con un arte socialmente consciente, una religión humanística y una educación actualizada y socialmente responsable. Esta "misión Apolo" de la cultura debería estar dedicada, no a hacer alunizar a un solo hombre, sino a colocar a todos los hombres y mujeres sobre la tierra en la era que se aproxima.

En la década de los años 20, von Bertalanffy reaccionaba en sus estudios de biología contra las corrientes de pensamiento en voga : el mecanicismo y el vitalismo. Entre él y otros proponen un nuevo enfoque al que denominan "organísmico". A Bertalanffy le sucede lo mismo que a muchos científicos responsables, que antes de lanzar una teoría sopesan mucho dar el paso definitivo. Nos lo cuenta en su magistral obra **Teoría General de los Sistemas** :

Me dio la impresión, no obstante, de que no podía detenerme en el camino que había elegido, y ello condujo a generalización mayor aún, a lo que llamé "teoría general de los sistemas". La idea viene de muy atrás : la presenté por primera vez en 1937 en el seminario filosófico de Charles Morris en la Universidad de Chicago. Sin embargo, en aquel entonces era mal visto teorizar en biología, y temí lo que el matemático Gauss llamaba "el clamor de los beocios". De modo que guardé mis notas en un cajón y no fue sino hasta después de la guerra cuando aparecieron mis primeras publicaciones sobre el asunto.

Ocurrió entonces algo interesante y sorprendente. Resultó que se había producido un cambio en el clima intelectual y que estaban de moda la construcción de modelos y generalizaciones abstractas. Más aún : un buen puñado de científicos habían seguido líneas de pensamiento parecidas. O sea que, al fin y al cabo, la teoría general de los sistemas no estaban tan aisladas, ni era una idiosincrasia personal en el grado que yo había creído, sino que correspondía a una tendencia del pensamiento moderno.

Las líneas de pensamiento que mostraban esa convergencia estaba en esos nuevos campos que revolucionaron la tecnología del siglo XX : cibernética; teoría

de la información; teoría de la decisión; análisis factorial; topología; teoría de los juegos; ...

Menciona Erwin Laszlo, en el prólogo que anteriormente hemos citado, que motivado a una cuestión de matiz en la traducción inglesa de la Teoría General de Sistemas, se malinterpretó el término "Teoría", que en alemán tiene un sentido más amplio. Por ello, se la tildó de pseudociencia y conceptualizadora de una extrema visión holística. Laszlo destaca que criticarle por éso es dar golpes al vacío. "Von Bertalanffy produjo algo de mucha mayor significación que una simple teoría (hoy sabemos que cualquier teoría puede quedar invalidada en corto tiempo); nos dio un nuevo **paradigma para desarrollar teorías**. Estas teorías son y serán sistémicas, pues tratan sobre fenómenos sistémicos – organismos, poblaciones, ecologías, grupos, sociedades, etc.–:

¿Qué es la Teoría General de los Sistemas?

El propio título de la teoría parece indicarnos que los sistemas, por el hecho de serlos, tienen unas leyes generales por encima de su naturaleza específica. Así es, según nos manifiesta von Bertalanffy :

Existen modelos, principios y leyes aplicables a sistemas generalizados o a sus subclases, sin importar su particular género, la naturaleza de sus elementos componentes y las relaciones o "fuerzas" que imperan entre ellos. Parece legítimo pedir una teoría no ya de sistemas de clase más o menos especial, sino de principios universales aplicables a los sistemas en general.

De aquí que adelantemos una nueva disciplina llamada **Teoría General de los Sistemas**. Su tema es la formulación y derivación de aquellos principios que son válidos para los "sistemas" en general.

Estudiando a Bertalanffy, observamos que en su Teoría tiene cabida el campo lógico matemático, con extensión a las más diversas disciplinas. Los ataques que pueden hacer tambalear a la Teoría en cierto sentido los prevee, y se cura en salud al cuidar las **analogías, traslaciones e isomorfismos**, que siempre suponen un riesgo.

"Conceptos, modelos y leyes producidos surgen una y otra vez en campos muy diversos, independientemente y fundándose en hechos del todo distintos. En muchas ocasiones fueron descubiertos principios idénticos, porque quienes trabajaban en un territorio no se percataban de que la estructura teórica requerida estaba ya muy adelantada en algún otro campo. La Teoría General de los Sistemas contará mucho en el afán de evitar esa inútil repetición de esfuerzos".

Objetivos de la Teoría General de los Sistemas

Las metas que se propone esta teoría, según Bertalanffy, son :

- 1) Hay una tendencia hacia la integración en las varias ciencias, naturales y sociales.
- 2) Tal integración parece girar en torno a una teoría general de los sistemas.
- 3) Tal teoría pudiera ser un recurso importante para buscar una teoría exacta en los campos no físicos de la ciencia.
- 4) Al elaborar principios unificadores que corren "verticalmente" por el universo de las ciencias, esta teoría nos acerca a la meta de la unidad de la ciencia.

- 5) Esto puede conducir a una integración, que hace mucha falta en la instrucción científica.

La tendencia a la integración de las ciencias la manifestaron los científicos "sistémicos" en primer lugar. Los científicos "fragmentarios" se inclinan cada vez más hacia análisis globalistas. Si en algunos "fragmentos" el todo tiene escasa influencia, en otros no. El nuevo enfoque de la ciencia se dirige por la vía del sistema, del todo y las partes interrelacionadas.

El salto que intentan ahora los científicos es desde las ciencias duras hacia las blandas o semiciencias, como las denomina Mario Bunge.

Este salto ya preocupaba a von Bertalanffy, cuando expresa :

Lo que falta, sin embargo es conocimiento de las leyes de la sociedad humana, y en consecuencia una tecnología sociológica. De ahí que los logros de la física se dediquen a la destrucción cada vez más eficiente; cunde el hambre en vastas partes del mundo mientras que otros las cosechas se pudren o son destruídas; la guerra y la aniquilación indiferente de la vida humana, la cultura y los medios de subsistencia son el único modo de salir al paso de la fertilidad incontrolada y la consiguiente sobrepoblación. Tal es el resultado de que conozcamos y dominemos demasiado bien las fuerzas físicas, las biológicas medianamente, y las **sociales en absoluto**. Si dispusiéramos de una ciencia de la sociedad humana bien desarrollada y de la correspondiente tecnología, habría modo de escapar del caos y de la destrucción que amenaza a nuestro mundo actual.

(Lo subrayado es nuestro). Esta preocupación, muy legítima, por un conocimiento más profundo de la ciencia sociológica, la muestra no sólo von Bertalanffy a lo largo de toda su obra, sino también los actuales "globalistas", H. Haken, I. Prigogine, E. Laszlo, R. Thom, por citar sólo algunos nombres.

Se le quiere meter el diente al complejísimo mundo de la esfera social. El primer mordisco lo dio Bertalanffy. Las Ciencias de la Complejidad han dado el segundo. Esperamos que no decaiga el apetito, y se continúe hasta tragarse tan duro bocado.

Tendencias

En el estudio de los sistemas se distinguen las cuatro tendencias más importantes, como destaca Voltes, tomadas en su referencia del libro *Tendencias en la Teoría General de Sistemas*, de Bertalanffy y otros autores :

a) Ciencia de los sistemas

- 1) La ciencia de los sistemas, entendida como exploración de los sistemas existentes en las varias ciencias.
- 2) Teoría matemática de los sistemas, que, partiendo de la existencia de sistemas en el ámbito de las relaciones matemáticas, aspira a desarrollar la Teoría General de Sistemas en términos matemáticos.

b) Teoría dinámica de los sistemas

Se ocupa de los cambios de los sistemas dentro del tiempo y que comprende dos modos principales de descripción : interno y externo.

c) **Tecnología de los sistemas**

Comprende los problemas que surgen en la tecnología moderna al aplicar la doctrina sistemática, tanto en el nivel del "hardware" como en el del "software", referido el primero a la tecnología del control, de la automatización, de la computación, etc., y el segundo a la aplicación de nociones sistemáticas a los problemas sociológicos, ecológicos, económicos, etc.

d) **Filosofía de los sistemas**

Remodelación del pensamiento y de la imagen del mundo conforme a la introyección de la idea de sistemas como nuevo paradigma científico. Dentro de ella cabe distinguir la ontología de sistemas y la epistemología de sistemas.

Principios generales

Voltes Bou nos dice que J.W. Stutheland establece los siguientes preceptos básicos de la Teoría General de Sistemas :

- La creencia en la utilidad científica y la existencia limitada de isomorfismos entre los fenómenos.
- La creencia en la naturaleza preliminar de la teoría, armonizada con la convicción de que la revalidación empírica debe ser el árbitro de la verdad científica.

- Afirmación de la función crítica representada por los modelos analógicos en los sectores fenomenológicos complejos.
- Preferencia por las referencias en las ciencias sociales y de la conducta, en demérito de las referencias mecánicas.
- Preferencia por un estilo holístico en contraste con el estilo reduccionista-inductivista.
- La afirmación de que los razonamientos a base de tipos ideales y los razonamientos taxonómicos son los más eficientes para el análisis de las ciencias sociales y de la conducta.

Voltes nos refiere como Ludwig von Bertalanffy, en su obra *Teoría General de Sistemas*, destaca los tres aspectos fundamentales :

- 1) La puesta de manifiesto de semejanzas estructurales o isomorfismos entre diferentes campos, puesto que existen correspondencias entre los principios que rigen la conducta de entidades que son muy diferentes intrínsecamente, pero que todas pueden ser consideradas en cierto sentido como sistemas, es decir, como complejos de elementos interactuantes. "Parece, por consiguiente -dice este autor-, que una teoría general de sistemas constituiría un instrumento útil para proporcionar, por una parte, modelos que pueden ser utilizados en distintos campos y transferidos del uno al otro, y que por otra parte, de garantías contra las analogías vagas que en ocasiones han estorbado al progreso en tales campos".

- 2) La posibilidad de proporcionar definiciones exactas que ayuden a resolver los problemas de la complejidad organizada y a formular una teoría general de la organización. Conceptos tales como "organización", "completitud", "directividad", "teleología", "control", "autorregulación", y otros, son extraños a la Física convencional, pero surgen por doquier en las ciencias biológicas y sociales y en las de la conducta, y son en realidad indispensables para tratar con organismo vivos o grupos sociales.
- 3) "El isomorfismo mencionado –continúa– es consecuencia del hecho de que, en ciertos aspectos, las abstracciones correspondientes y los modelos conceptuales pueden aplicarse a diferentes fenómenos. Las leyes de los sistemas sólo pueden aplicarse dentro de los aspectos en cuestión, de suerte que nadie propugna que sean lo mismo los sistemas físicos, los organismos y las sociedades.

Teoría matemática de sistemas

No quisiéramos terminar esta breve exposición sobre la Teoría General de Sistemas sin hacer referencia al aspecto matemático, ejemplificado en un caso concreto como es el **crecimiento**, descrito por Bertalanffy en la obra citada.

El estudio matemático de un sistema supone modelizarlo, asignando a los componentes y sus relaciones una determinada estructura matemática. Se le pueden dar toda clase de posibilidades de aplicación matemática, dependiendo de la especificidad del sistema : estático, dinámico, cerrado, abierto, determinista, probabilista, lineales, no lineales, continuos, discretos, etc.

Estudiar matemáticamente un sistema es toparse con las ecuaciones diferenciales. Cualquier relación existente entre los elementos de un sistema, es muy

poco frecuente que pueda ser representada de un modo simple y lineal. Lo habitual es recurrir a los elementos diferenciales, planteando puntualmente unas relaciones supuestas, por lo cual nos encontramos con las ecuaciones diferenciales, que nos indicarán la conducta del sistema.

El profesor Voltes, haciendo referencia a Rapoport, nos aclara :

El propio autor indica que las características de los modelos matemáticos que describen los diversos sistemas sugieren una clarificación de los mismos. En primer término aparece la clase de los sistemas que son isomórficos con sistemas de ecuaciones diferenciales ordinarias, los cuales pueden ser clasificados por órdenes, grados y números de variables dependientes, entre los que los más sencillos serán los lineales con coeficientes constantes.

En la mayoría de los casos, la ecuación o sistemas de ecuaciones diferenciales que representan al sistema en cuestión serán no lineales. Y es ahí donde los nuevos estudios de los sistemas complejos se encontraron con sorpresas : caos, autoorganización, etc.

Bertalanffy, en su **Teoría General de Sistemas**, nos dice :

Es posible definir matemáticamente un sistema de varias maneras. Tomemos como ilustración un sistema de ecuaciones diferenciales simultáneas. Denotando por Q_i alguna magnitud de elementos p_i ($i= 1,2,...,n$) para un número finito de elementos, y en el caso más sencillo, las ecuaciones tendrán la forma:

$$\begin{aligned}\frac{dQ_1}{dt} &= f_1 (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \\ \frac{dQ_2}{dt} &= f_2 (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) \\ \frac{dQ_n}{dt} &= f_n (Q_1, Q_2, \dots, Q_n)\end{aligned}\tag{2.5}$$

De esta suerte, el cambio de cualquier magnitud Q_i es función de todas las Q , de Q_1 a Q_n ; a la inversa, el cambio de cualquier Q acarrea cambio en todas las demás magnitudes y en el sistema de conjunto. Sistemas de ecuaciones de este género se encuentran en muchos campos y representan un principio general de cinética.

Nos ejemplifica luego Bertalanffy cómo este tipo de ecuaciones son de aplicación en la ley de acción de masas en cinética química, como Lotka las introduce en demografía y Volterra en sistemas biocinéticos, además de otras aplicaciones en biología y farmacodinamia.

Nos aclara que este tipo de ecuaciones están muy lejos de asumir la generalidad de los casos, ya que prescinden de condiciones espaciales y temporales expresables por ecuaciones diferenciales parciales.

El sistema de ecuaciones diferenciales anterior nos sirve de ejemplo para el estudio de las **propiedades generales de sistemas**, independientemente de la naturaleza del sistema y de la interrelación de sus componentes, de decir que las magnitudes Q_i y las funciones f_i tienen un carácter general.

Como en las Ciencias de la Complejidad, concretamente en la sinérgica, se parte del isomorfismo matemático con el sistema objeto de estudio, encontramos interesante exponer la discusión que Bertalanffy realiza del sistema de ecuaciones diferenciales propuesto, ya que supone un antecedente importante en el estudio sinérgico de muchos sistemas.

Estado estacionario

Serán aquéllos en los que no se producen cambios, es decir, que las $\frac{dQ_i}{dt} = 0$, o sea:

$$f_1 = f_2 = \dots f_n = 0 \quad (2.6)$$

Resolviendo el sistema de las n ecuaciones con las n variables, se obtiene:

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_1^* \\ Q_2 &= Q_2^* \\ Q_n &= Q_n^* \end{aligned} \quad (2.7)$$

Esta constancia de los valores de Q_i nos indican la existencia de múltiples estados estacionarios, de los cuales unos serán estables y otros inestables.

Con el cambio de variable:

$$Q_i = Q_i^* - Q'_i \quad (2.8)$$

el sistema (2.4) será ahora:

$$\begin{aligned} \frac{dQ'_1}{dt} &= f'_1(Q'_1, Q'_2, \dots, Q'_n) \\ \frac{dQ'_2}{dt} &= f'_2(Q'_1, Q'_2, \dots, Q'_n) \\ \frac{dQ'_n}{dt} &= f'_n(Q'_1, Q'_2, \dots, Q'_n) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Y, en el supuesto de que las ecuaciones admitan el desarrollo en series de Taylor, tendremos:

$$\begin{aligned}
\frac{dQ_1'}{dt} &= a_{11} Q_1' + a_{12} Q_2' + \dots \\
&\quad a_{1n} Q_n' + a_{111} Q_1'^2 + a_{112} Q_1' Q_2' + a_{122} Q_2'^2 + \dots \\
\frac{dQ_2'}{dt} &= a_{21} Q_1' + a_{22} Q_2' + \dots \\
&\quad a_{2n} Q_n' + a_{211} Q_1'^2 + a_{212} Q_1' Q_2' + a_{222} Q_2'^2 + \dots \\
\frac{dQ_n'}{dt} &= a_{n1} Q_1' + a_{n2} Q_2' + \dots \\
&\quad a_{nn} Q_n' + a_{n11} Q_1'^2 + a_{n12} Q_1' Q_2' + a_{n22} Q_2'^2 + \dots
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Este sistema tiene la siguiente solución general:

$$\begin{aligned}
Q_1' &= G_{11} e^{\lambda_1 t} + G_{12} e^{\lambda_2 t} + \dots G_{1n} e^{\lambda_n t} + G_{111} e^{2\lambda_1 t} + \dots \\
Q_2' &= G_{21} e^{\lambda_1 t} + G_{22} e^{\lambda_2 t} + \dots G_{2n} e^{\lambda_n t} + G_{211} e^{2\lambda_1 t} + \dots \\
Q_n' &= G_{n1} e^{\lambda_1 t} + G_{n2} e^{\lambda_2 t} + \dots G_{nn} e^{\lambda_n t} + G_{n11} e^{2\lambda_1 t} + \dots
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Las G son constantes y las λ corresponden a las raíces de la siguiente **ecuación característica** :

$$\begin{vmatrix}
a_{11} - \lambda & a_{12} & a_{1n} \\
a_{12} & a_{22} - \lambda & a_{2n} \\
a_{n1} & a_{n2} & a_{nn} - \lambda
\end{vmatrix} = 0 \tag{2.12}$$

Las soluciones de esta ecuación de grado n podrán tener valores reales o imaginarios, los cuales indicarán el tipo de equilibrio.

Si analizamos la solución general (2.11), resulta que para valores de λ reales y negativos, o compleja con parte real negativa, los términos $G_{nn} e^{\lambda n t}$ tienden a cero cuando t tiende a infinito :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} G_{nn} e^{\lambda n t} = 0$$

Esto implica que las $Q_i' = 0$

Luego la (2.8) implica $Q_i = Q_i^*$

Con estas condiciones de λ (-), al crecer t , el sistema se aproxima al estado estacionario y se denomina **equilibrio estable**.

Si $\lambda = (+)$ o nula, las Q_i' crecen con el tiempo t . En este caso se tiene el **equilibrio inestable**.

Para el caso de que existan algunas λ positivas y otras complejas, tenemos:

$$G_{nn} e^{\lambda n t} = G_{nn} e^{(a-bi)t} = G_{nn} (\cos bt - i \sin bt)$$

que es un término periódico.

En consecuencia, para este caso en que haya λ positivas y/o complejas, se producen las **fluctuaciones periódicas**, que de un modo general, suelen ser amortiguadas.

La exposición anterior corresponde a la **teoría de la estabilidad**, que se estudia en la dinámica, y por extensión en la teoría de las ecuaciones diferenciales, de la que hemos hablado en páginas anteriores (2.11) al referirnos a la **estabilidad de sistemas**, haciendo referencia a los métodos de Poincaré y Lyapunov.

Bertalanffy expone en su libro **Teoría General de los sistemas** distintos ejemplos, en relación con el número de componentes del sistema y de las soluciones de las ecuaciones diferenciales que lo representan. A continuación, transcribimos algunos de ellos. Comenzamos por el más sencillo, $n=1$, que corresponde al:

Crecimiento

La ecuación general tiene un solo componente:

$$\frac{dQ}{dt} = f(Q)$$

Desarrollando en serie de Taylor :

$$\frac{dQ}{dt} = a_1 Q + a_{11} Q^2 + \dots$$

Si se considera sólo el primer término, queda:

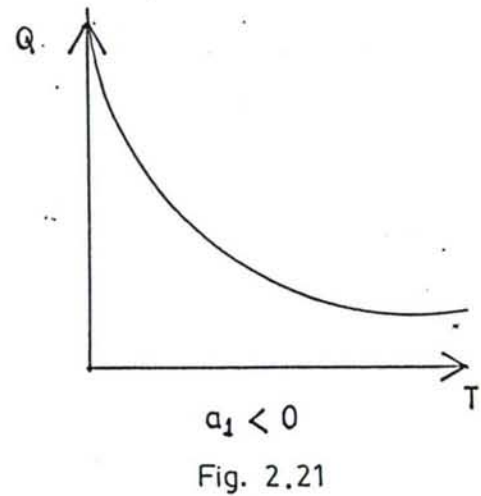
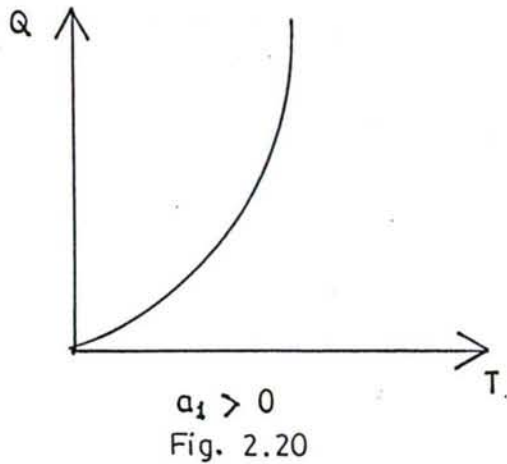
$$\frac{dQ}{dt} = a_1 Q$$

cuya solución es:

$$Q = Q_0 e^{a_1 t}$$

Q_0 , es el número de elementos cuando $t = 0$.

La solución obtenida es la famosa **ley exponencial** del crecimiento, conocida como **ley del crecimiento natural**, cuyas aplicaciones son conocidas en biología, sociología, etc. cuando $a_1 > 0$. Con $a_1 < 0$, implica decrecimiento exponencial, como el caso de la desintegración radiactiva, etc.

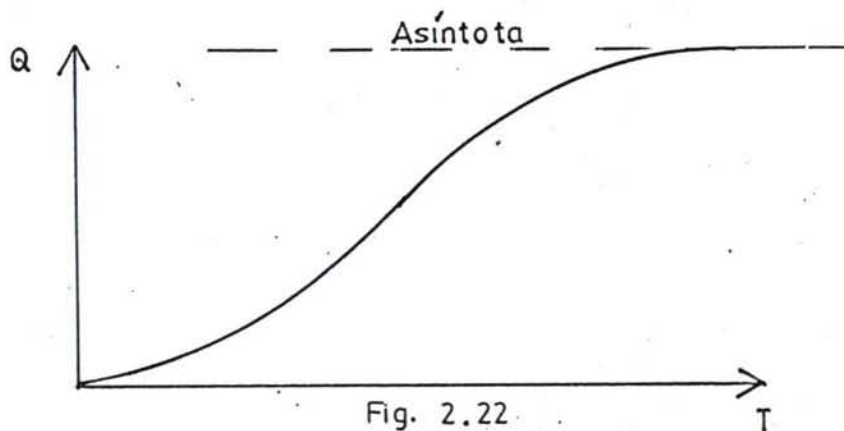


Curva logística

Si en la serie de Taylor, se cogen los dos primeros términos, entonces :

$$\frac{dQ}{dt} = a_1 Q + a_{11} Q^2$$

$$\text{Solución } Q = \frac{a_1 C e^{a_1 t}}{1 - a_{11} C e^{a_1 t}}$$



En este caso, el crecimiento no es infinito, como ocurría tomando sólo el primer término. Aquí existe un límite al crecimiento, más acorde con la realidad, como es el caso de la **reacción autocatalítica**, en química, o la **ley de Verhulst** en sociología, que expresa el crecimiento de la población humana en función de la limitación de recursos.

Como dice Bertalanffy : "Ecuaciones de este tipo se presentan en diversos campos y puede usarse el sistema (el general de ecuaciones diferenciales) para ilustrar la identidad formal de las leyes del sistema en varios territorios o, en otras palabras, para demostrar la existencia de una teoría general de los sistemas".

Atractores

Creemos importante exponer el ejemplo de Bertalanffy para el caso de dos elementos, por aparecer en el estudio de la estabilidad los conceptos que hoy denominamos **atractores**.

Con $n = 2$:

$$\frac{dQ_1}{dt} = f_1(Q_1, Q_2)$$

$$\frac{dQ_2}{dt} = f_2(Q_1, Q_2)$$

Desarrollando por Taylor las funciones del sistema de ecuaciones diferenciales simultáneas, se encuentra la solución general :

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_1^* - G_{11} e^{\lambda_1 t} - G_{12} e^{\lambda_2 t} - G_{111} e^{2\lambda_1 t} \dots \\ Q_2 &= Q_2^* - G_{21} e^{\lambda_1 t} - G_{22} e^{\lambda_2 t} - G_{211} e^{2\lambda_1 t} \dots \end{aligned}$$

Q_1^* y Q_2^* corresponden, como hemos visto en páginas anteriores, a los valores estacionarios de Q_1 y Q_2 cuando $f_1 = f_2 = 0$; G_{ij} son factores constantes y λ las raíces de la **ecuación característica**.

$$\begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda \end{vmatrix} \stackrel{157}{=} 0$$

$$(a_{11} - \lambda)(a_{22} - \lambda) - a_{12} a_{21} = 0$$

$$a_{11} a_{22} - (a_{11} + a_{22}) \lambda + \lambda^2 - a_{12} a_{21} = 0$$

Haciendo :

$$C = a_{11} + a_{22}; D = a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21}$$

$$\lambda^2 - C \lambda + D = 0$$

$$\lambda = \frac{C}{2} \pm \sqrt{-D + \frac{C^2}{4}} = \frac{C}{2} \pm \frac{\sqrt{C^2 - 4D}}{2}$$

Analizando los cuatro casos posibles para valores de C y D, y el discriminante $E = C^2 - 4D$, resulta :

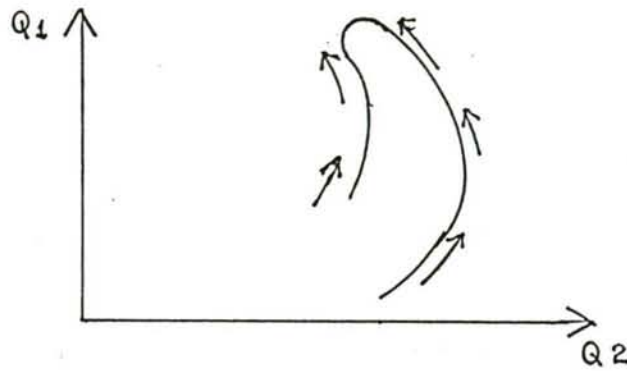
1º caso :

$$C < 0, D > 0, E = C^2 - 4D > 0$$

esto implica que las dos raíces λ_1 y λ_2 de la ecuación característica son negativas, y por lo tanto cuando t tiende a infinito:

$$G_{nn} e^{\lambda t} \rightarrow 0$$

y la solución del sistema (Q_1, Q_2) tienden al estado estacionario estable (Q_1^*, Q_2^*) . En este caso se forma un **nodo**.



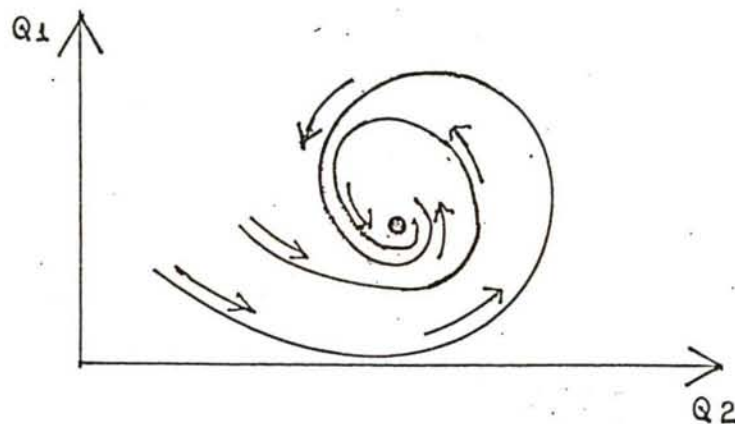
Nodo
Fig. 2.23

2º caso

$$C < 0, D > 0, E = C^2 - 4D < 0$$

con discriminante E negativo, obtenemos raíces imaginarias. Las soluciones λ_1 y λ_2 son cantidades complejas con parte real negativa. La solución (Q_1, Q_2) tienden a (Q_1^*, Q_2^*) , aproximándose en curva espiral.

Este caso, se denomina **bucle**:



Bucle
Fig. 2.24

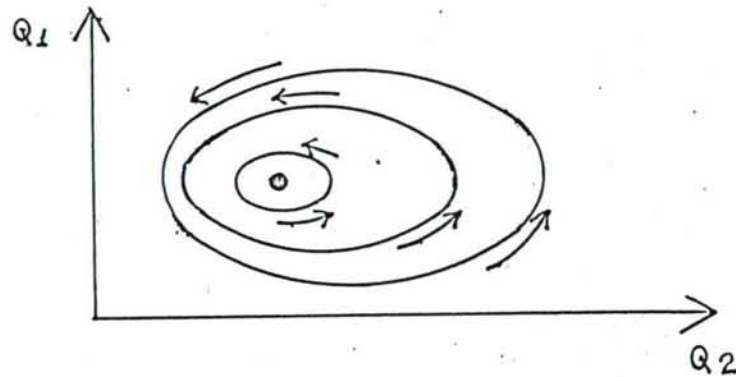
3º caso

$$C = 0, D > 0, E < 0$$

Las soluciones de la ecuación característica son, en este caso, $\lambda_1 = -\lambda_2$ = imaginarias.

El punto genérico de la solución (Q_1, Q_2) , describe una **curva cerrada**, en el entorno de (Q_1^*, Q_2^*) , o sea, que se originan oscilaciones en las proximidades de los valores estacionarios.

A estas oscilaciones se le denominan **ciclos**.



Ciclo

Fig. 2.25

4º caso

$$C > 0, D < 0, E > 0$$

Entonces, las λ_1 y λ_2 son ambas positivas. En consecuencia, los términos $G_{nn} e^{\lambda t} \rightarrow \infty$ cuanto $t \rightarrow \infty$

Luego (Q_1, Q_2) se aleja de los valores (Q_1^*, Q_2^*)

En este caso, por tanto, **no existe estado estacionario**.

Este ejemplo, Bertalanffy nos muestra un análisis de estabilidad de un sistema dinámico, considerando un caso sencillo. La realidad es mucho más compleja, y por tanto, el estudio de la estabilidad de la mayoría de los problemas que se presentan en la práctica ofrecen mayor dificultad. Las Ciencias de la Complejidad abordan toda la problemática inherente a dinámicas no lineales, enriqueciendo el saber sobre la **Teoría de la estabilidad** con nuevos conceptos, como atractor, repulsor, estable en sentido fuerte, asintóticamente estable, casos estáticos y dinámicos, según se trate de puntos de equilibrio o de trayectorias, definiendo en este último caso, la estabilidad en el sentido Poincaré, o estabilidad orbital, etc.

La importancia de la **Teoría General de Sistemas** radica precisamente en esa **generalización**, de la que Bertalanffy fue pionero. Sus propias palabras son muy expresivas al respecto, tomando como referencia los ejemplos expuestos anteriormente :

Con todo y ser matemáticamente triviales, estos ejemplos ilustran un punto que nos interesa ahora, a saber : **el hecho de que pueda llegarse a ciertas leyes de la naturaleza no sólo sobre la base de la experiencia, sino también de manera puramente formal.** Las ecuaciones discutidas no significan más que el sistema harto general de ecuaciones, se refiere a la 2.4 , su desarrollo en serie de Taylor y la aplicación de condiciones adecuadas. En este sentido tales leyes son **a priori**, independientes de su interpretación física, química, biológica, sociológica, etc. En otras palabras, esto muestra la existencia de una teoría general de los sistemas que se ocupa de las características formales de los sistemas; aparecen hechos concretos en aplicaciones especiales, definiendo variables y parámetros. Dicho aún de otra manera, **tales ejemplos muestran una uniformidad formal en la naturaleza.**

Hemos subrayado las frases que contienen el corazón de la Teoría General de Sistemas : "la uniformidad formal de la naturaleza". Cuestión ésta que

otros científicos de gran relieve como Haken, Prigogine, Laszlo, y otros, han ratificado al descubrir similitudes formales entre las ciencias duras y ciencias blandas, y que tan positivamente está incidiendo en la convergencia de las dos culturas, que si bien en la actualidad es bastante lenta, es de esperar que en un futuro próximo sea más acelerada.

Precisamente, un destacado discípulo de Bertalanffy, Erwin Laszlo –Director del Instituto para la Enseñanza y la Investigación de las Naciones Unidas, miembro del Club de Roma y fundador del General Evolution Research Group– se está mostrando muy activo en la difusión de los conocimientos tendentes a la aproximación de las dos culturas : ciencias naturales y humanísticas. En su libro **Evolución - La gran síntesis**, así lo manifiesta : "Jantsch me presentó a Prigogine y a sus colaboradores de Bruselas. Después de la importancia que había tenido mi anterior colaboración con von Bertalanffy, fue Prigogine –y su obra– quien ejerció más influencia en mi pensamiento. Convencido de la aplicación de la dinámica irreversible de los sistemas disipativos de desequilibrio al mundo biológico e incluso social, pude convencer a Prigogine para que realizase un estudio en el que se extendiese la aplicación de la teoría de los sistemas a las especies biológicas, a los ecosistemas y a la evolución sociocultural".

A nosotros nos han convencido también, entre los más destacados, Laszlo, Bertalanffy, Prigogine, y sobre todo Haken, de la importancia que las Ciencias de la Complejidad tienen para la Arquitectura y el Urbanismo.

TEORIA DE LAS CATASTROFES

Consideraciones históricas

Hemos visto anteriormente, en el breve resumen sobre la Teoría General de Sistemas, que la modelización matemática suponía el planteamiento de un sistema de ecuaciones diferenciales simultáneas.

La resolución de esas ecuaciones diferenciales, en la mayoría de los casos, no es posible. Esta cuestión genera un arduo problema, ya que entonces, ¿cómo podemos averiguar la conducta del sistema, es decir, su estabilidad, puntos críticos, singularidades, conducta regular o caótica, etc.?.

Mencionábamos los métodos que son aplicables en unos casos, como las famosas funciones de Lyapunov, de carácter cualitativo, así como el topológico de Poincaré, también cualitativo.

La Teoría de las Catástrofes parece resolver buen número de casos de tal modo que incluso no es necesario plantear el sistema de ecuaciones diferenciales. Y decimos **parece** porque esta Teoría ha despertado una gran polémica en la comunidad científica, con sus apologistas y detractores.

En los inicios de la década de los 70, la Teoría de las Catástrofes tuvo una gran difusión, llegando incluso a popularizarse. Algunos la consideraron como una gran revolución científica, de un nivel similar al de la mecánica newtoniana o a la teoría de la relatividad de Einstein. Tenían la convicción de que su aplicación abarcaba todo el espectro del conocimiento. Como veremos al final, las aguas parece que están volviendo a su cauce, ya que son muchos los científicos serios que demostraron las limitaciones de dicha teoría.

El padre de la célebre Teoría es el matemático francés René Thom, nacido en el año 1923. Profesor desde 1953 en el Institut des Hautes Etudes Scientifiques de Bures-sur-Yvette. En 1958, se le concede la **Medalla Fields**, galardón equivalente a un premio Nobel de matemáticas, por su teoría del **co-bordismo**, en el campo de los estudios topológicos de transversalidad.

A principios de los años 60, es cuando Thom elabora su Teoría, no siendo publicada hasta el año 1972.

La Teoría de las Catástrofes tiene sus antecedentes en la teoría de sistemas dinámicos de Poincaré y Andronov, y más recientemente en la teoría de las singularidades de Whitney (1955).

Catástrofe

Thom define en sentido amplio una **catástrofe**, diciendo que es cualquier transición discontinua que ocurre cuando un sistema puede tener más de un estado estable, o cuando puede seguir más de un curso estable de cambio. **La catástrofe** es el **salto** de un estado, o curso, a otro.

Arnold define : "**Las catástrofes** son cambios bruscos que surgen como respuesta repentina de un sistema a un cambio suave en las condiciones externas".

¿Que es la Teoría de las Catástrofes?

De un modo esquemático, la Teoría de las Catástrofes es una rama de las matemáticas que trata de singularidades.

Recordando nuestros estudios de análisis matemático, sabemos que una función matemática representada gráficamente podía mostrarnos cierto tipo de singularidades : continuidad, discontinuidad, máximo, mínimo, inflexión, etc.

La Teoría de las Catástrofes va más allá. En todo sistema natural o social, nos interesa conocer su comportamiento. Para ello tenemos que plantear el sistema de ecuaciones diferenciales, y esto último pocas veces es posible. Con la Teoría de las Catástrofes, se pueden obtener predicciones del comportamiento colectivo del sistema, sin necesidad de tener que plantearse siquiera las ecuaciones diferenciales. Para ello se basa en la utilización de la lista de las **siete catástrofes elementales**.

La Teoría de las Catástrofes es una metodología esencialmente topológica. Es cualitativa y no cuantitativa.

Como expresan Woodcock y Davis :

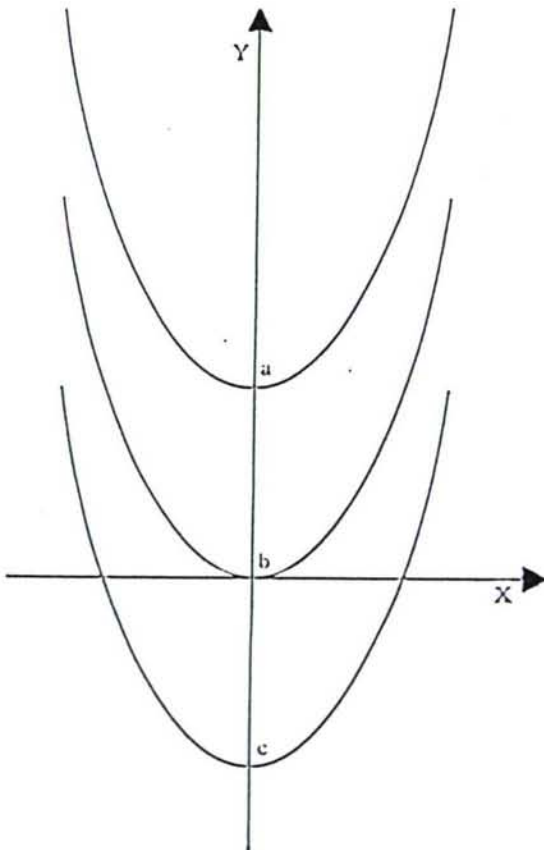
La Teoría de las catástrofes es una nueva forma, polémica, de pensar en el cambio, cambio en un curso de acontecimientos, cambio en la forma de un objeto, cambio en el comportamiento de un sistema, cambio en las ideas mismas.

Su nombre sugiere desastre y, efectivamente, la teoría puede aplicarse a auténticas catástrofes, tales como el derrumbamiento de un puente o la caída de un imperio. Pero también trata de cambios tan tranquilos como la danza de la luz del sol en el fondo de un estanque y tan sutiles como la transición de la vigilia al sueño.

Estabilidad estructural

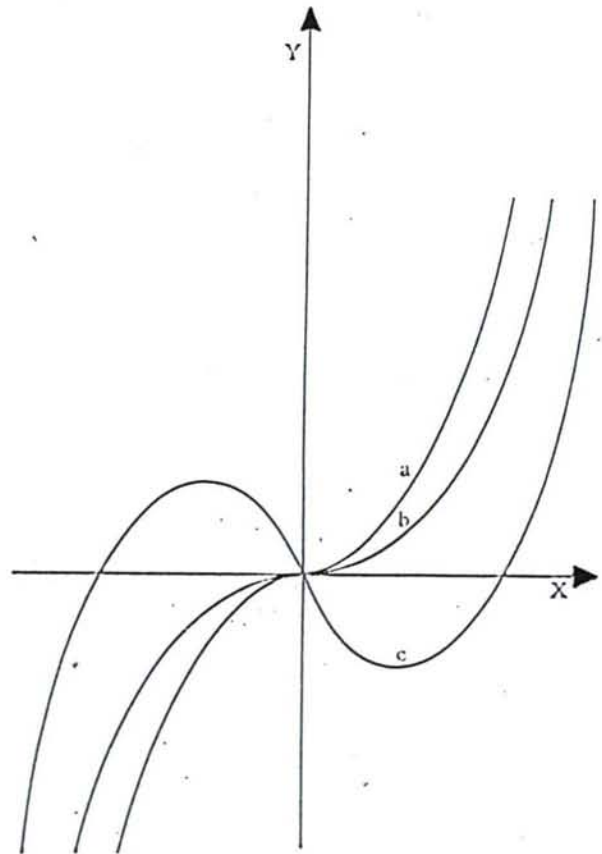
La ciencia avanza porque parte de un supuesto, de que el universo tiene regularidades, y ella se propone encontrarlas, No basta con suponerlas, es necesario, en esa incesante búsqueda, experimentarlas. Pues bien, si nosotros realizamos algún tipo de experimento y luego lo repetimos en las mismas condiciones, suponemos que hallaremos los mismos resultados. Este hecho es el que se denomina **estabilidad estructural**.

Este encuentro llevado a las matemáticas, supone que en una familia de curvas que dependen de unos parámetros continuos, una pequeña variación en éstos nos originan curvas que siguen perteneciendo a la familia.



Un conjunto cualitativamente estable de curvas.

Fig. 2.26



Un conjunto cualitativamente inestable de curvas.

Fig. 2.27

Los parámetros juegan un importante papel en la teoría de las catástrofes. Thom dice que si el número de parámetros no pasa de cuatro, entonces sólo surgen **siete tipos de catástrofes**, en la estabilidad estructural:

N.º de factores de control	Un eje de conducta	Dos ejes de conducta
1	pliegue*	—
2	cúspide	—
3	cola de milano	umbílica hiperbólica umbílica-elíptica
4	mariposa	umbílica parabólica

Cuadro 2.1

Variables de control o externas

Estos parámetros que mantienen la estabilidad estructural se denominan variables de control. Su número suele ser pequeño. Estas variables independientes de control son las que determinan las variables de estado.

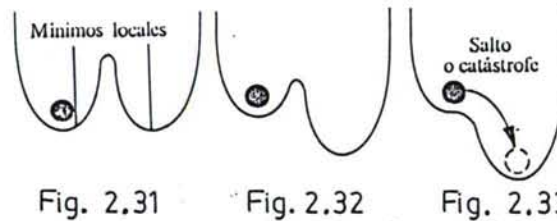
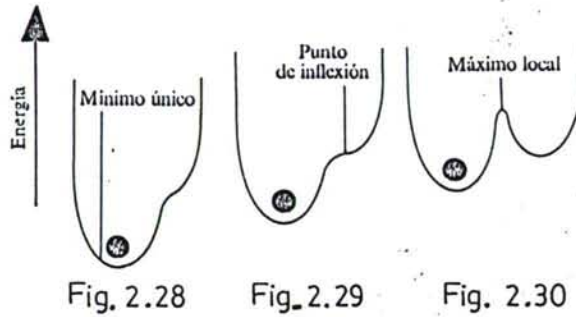
Variables de estado o internas

Son las variables que describen la conducta del sistema, y su número puede ser muy grande. Dependen de las variables de control.

Potencial

Como hemos visto en la estabilidad de sistemas, Lyapunov asociaba las ecuaciones diferenciales objeto de estudio a un sistema dinámico. Con la teoría de las catástrofes, ocurre algo similar. Las inestabilidades, catástro-

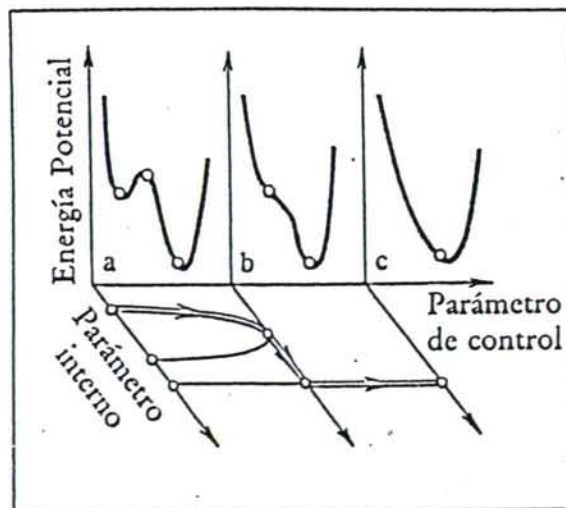
fes, no ocurren en un mundo estático, sino en uno que evoluciona, cambia, se transforma, es decir, dinámico. Los equilibrios estables o inestables dependen de una condición **potencial**.



Una catástrofe simple: un cambio repentino en la energía potencial.

Las condiciones que se imponen para poder aplicar la teoría de las catástrofes son :

- 1) Existencia de un potencial.
- 2) El potencial debe ser regular.



Lema de descomposición

Este lema, que se demuestra en los tratados correspondientes, nos dice :

Las variables se pueden descomponer en dos clases :

- a) **variables esenciales**, que intervienen en la inestabilidad estructural.
- b) **variables inesenciales**, que no intervienen, y por lo tanto se puede prescindir de ellas.

Corrango

Se denomina así al número de variables de estado esenciales. Éstas son las que determinan el número de clases de catástrofes, y no el número de variables de estado.

Codimensión

Se llama **codimensión** a la diferencia entre la dimensión del objeto y la del espacio en que está representado.

El número de ecuaciones necesarias para representar un objeto geométrico es igual a su codimensión.

LAS SIETE CATASTROFES ELEMENTALES

Topología

La teoría de las catástrofes es una teoría que se enmarca en una rama de las matemáticas llamada **topología**.

Muy brevemente. Sabemos que la topología estudia las propiedades de las superficies, de tal modo que transforma unas en otras mediante deformaciones continuas. De ahí que algunos autores la denominen "la geometría de la goma".

La actuación sobre la superficie y el cuerpo con deformaciones graduales y continuas no debe producir soldaduras ni desgarramientos, es decir, que en estas transformaciones se realizan unas correspondencias que son bicontinuas y biunívocas

Equivalencia topológica, se dice que dos figuras geométricas son equivalentes topológicamente cuando una se puede transformar en la otra por deformación continua. Ejemplo, una esfera se puede transformar en un cubo, pero no en un anillo.

Invariante topológica, se denomina así a las propiedades que se conservan en una transformación topológica.

La geometría de las siete catástrofes elementales

Para analizar las propiedades de las siete catástrofes elementales es necesario plantearse las ecuaciones del **potencial**, la **superficie de equilibrio** y el **conjunto de singularidades**.

Siguiendo a P.T. Saunders, en su libro **Una introducción a la teoría de catástrofes**:

Potencial V

El potencial V se asimila a la energía potencial del sistema.

Superficie de equilibrio, M

Esta superficie se obtiene de la ecuación:

$$\nabla_x V = 0$$

donde ∇_x , es el gradiente que se aplica a las variables de estado. La superficie obtenida contiene todos los puntos críticos del potencial V, es decir, todos los puntos singulares del equilibrio del sistema, sean o no estables.

Conjunto de singularidades, S

Esto es el subconjunto de M que contiene todos los puntos críticos degenerados de V. Se obtienen estos puntos por el sistema de ecuaciones :

$$S = \Delta \equiv \begin{matrix} \nabla_x V = 0 \\ \det \{ H(V) \} = 0 \end{matrix}$$

$H(V)$ = matriz hessiana de V.

Conjunto de bifurcación, B

Éste es el conjunto de todos los puntos del espacio de control C, en el cual se originan cambios en la forma de V, es decir, se proyecta S en el espacio de control C, eliminando las variables de estado.

A continuación, exponemos la geometría de las siete catástrofes elementales y su denominación :

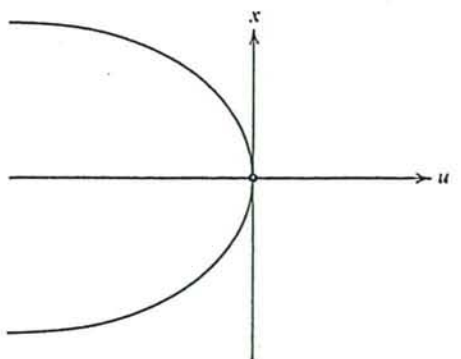
El pliegue

La más sencilla de todas.

Potencial $V(-x) = x^3 + \mu x$ dimensión espacio de fases = 2.

Superficie de equilibrio $M = 3x^2 + \mu = 0$

Singularidades: $3x^2 + \mu = 0$
 $6x = 0$



La superficie de equilibrio y el conjunto de bifurcación de la catástrofe en pliegue

Fig. 2.35

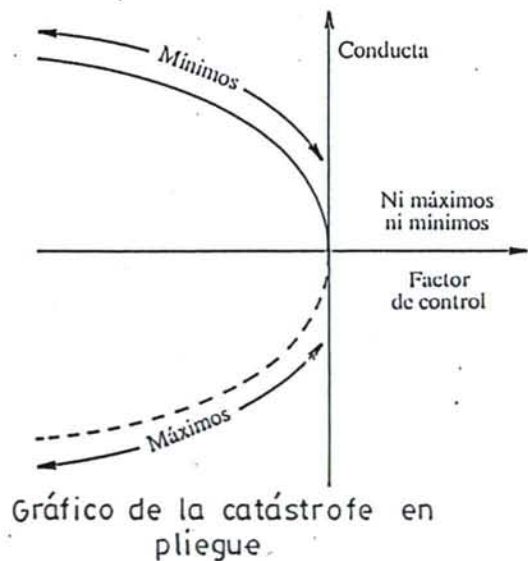


Gráfico de la catástrofe en pliegue

Fig. 2.36

La catástrofe en pliegue se aplica a los sistemas que se rigen por una sola variable (μ), llamada también factor de control.

La ecuación de la superficie de equilibrio sólo tiene soluciones reales para $\mu < 0$. El potencial V presenta un mínimo y un máximo, y por lo tanto existen dos tipos de equilibrio: uno estable, y el otro inestable.

La catástrofe ocurre en el cambio del equilibrio estable al inestable, es decir, cuando $\mu = 0$, en el eje de control. "La catástrofe en pliegue tiene poco que decirnos, ya que hay pocas cosas que puedan ocurrir en un sistema tal, y todas ellas obvias".

La cúspide (o singularidad de Riemann-Hugoniot)

Potencial $V(x) = x^4 + \mu x^2 + \nu x \rightarrow$ dimensión espacios de fases = 2.

Superficie de equilibrio $M = 4x^3 + 2\mu x + \nu = 0$

Conjunto de singularidades $\begin{cases} M = 0 \\ 12x^2 + \mu = 0 \end{cases}$

De aquí obtenemos el conjunto de bifurcación:

$$8\mu^3 + 27\nu^2 = 0$$

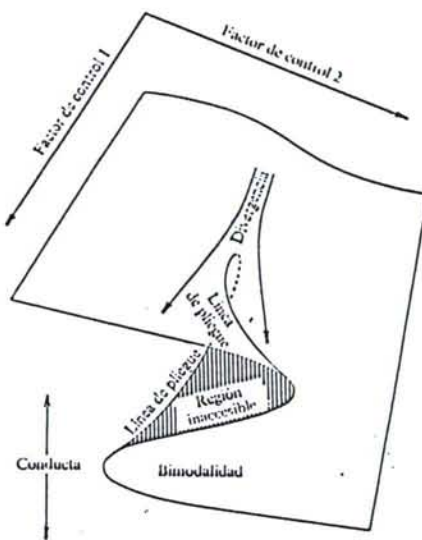
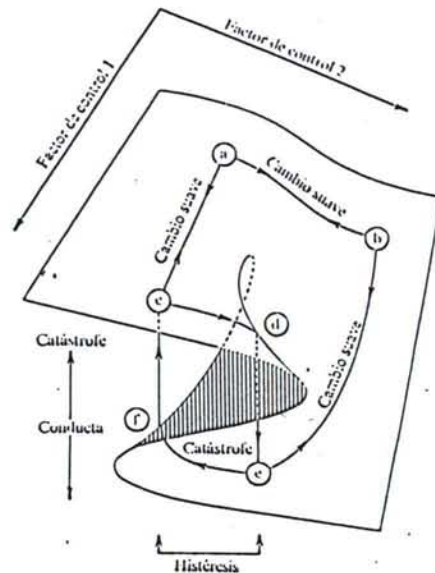


Gráfico de la catástrofe en cúspide

Fig. 2.37



Cambios continuos y discontinuos que se muestran como trayectorias en el gráfico de la catástrofe en cúspide.

Fig. 2.38

La catástrofe en cúspide tiene lugar en los sistemas con dos factores (μ, ν) de control. El gráfico muestra una superficie curva con una doblez —el "labio"— La línea de pliegue representa los puntos de inflexión que corresponden a estados semiestables.

Dentro de la cúspide existen dos mínimos separados por un máximo. En la parte externa, sin embargo, sólo aparece un mínimo. En consecuencia, cuando la variabilidad de los factores de control (μ, ν) , se encuentran en la superficie del "labio", se podrán producir dos estados estables, uno en la parte superior y otro en la inferior del labio. De ahí la conducta "bimodal", que con las mismas condiciones de los factores de control ofrece dos soluciones, dos situaciones de equilibrio estable.

La catástrofe, salto discontinuo, se origina cuando las variables de control se sitúan en la línea de pliegue. La figura 2.38, muestra esta situación: el camino a b e es suave, mientras que el a c d e es catastrófico.

El modelo en cúspide corresponde a situaciones que aparecen con más frecuencia en el mundo real.

La cola de milano

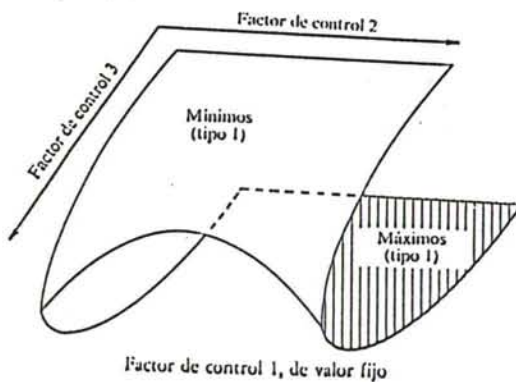
Potencial $V(x) = x^5 + \mu x^3 + \nu x^2 + wx \rightarrow$ dimensión espacio de fases = 4.

Superficie de equilibrio $M = 5x^4 + 3\mu x^2 + 2\nu x + w = 0$

Conjunto de singularidades:

$$S = \begin{cases} M = 0 \\ 20x^3 + 6\mu x + 2\nu = 0 \end{cases}$$

Resolviendo, se busca el comportamiento cualitativo del sistema:



Dos <rodajas> tridimensionales de la cola de milano.

Fig. 2.39

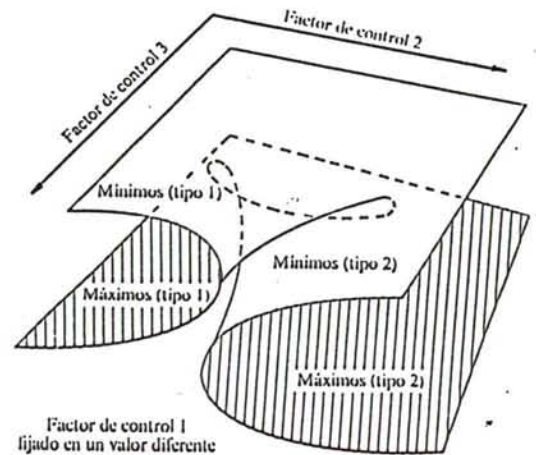


Gráfico de la catástrofe.

Fig. 2.40

La catástrofe en cola de milano puede aplicarse a los sistemas con tres factores de control (μ, ν, w). Como el modelo resulta tetradimensional, se recurre a representaciones en "rodajas" tridimensionales, dejando constante o fijo una de las variables de control.

La figura 2.40 presenta una superficie retorcida que recuerda la cola de milano; de ahí su nombre.

Del análisis matemático del conjunto S de singularidades, se llega a la conclusión de que por encima de la superficie no existe equilibrio estable, se origina un punto de equilibrio estable fuera de la superficie retorcida y dos dentro de la cola de milano. Se produce una catástrofe, por tanto, cuando se abandona la superficie.

Dado que abundan las situaciones en que no es posible el estado estable, la catástrofe en cola de milano es poco útil como modelo cualitativo para resolver problemas que pudieran llevarse a ese tipo de sistema.

La singularidad umbílica elíptica

$$\text{Potencial } V(x, y) = \frac{1}{3}x^3 - xy^2 + w(x^2 + y^2) - \mu x + \nu y$$

$$\begin{array}{ll} \text{Dimensión del espacio de fases} & = 5 \\ \text{"} & \text{"} \\ \text{"} & \text{control} = 3 \end{array}$$

Superficie de equilibrio M =

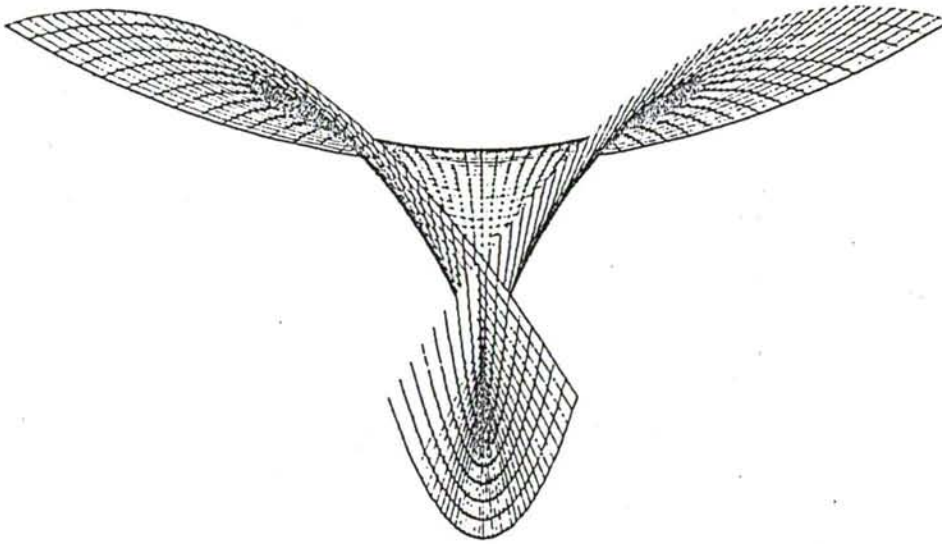
$$\begin{aligned} x^2 - y^2 + 2wx - \mu &= 0 \\ -2xy + 2wy + \nu &= 0 \end{aligned}$$

Conjunto de singularidades S:

se resuelve con M - Y

$$\begin{vmatrix} 2x + 2w & -2y \\ -2y & -2x + 2w \end{vmatrix} = 0$$

$$\text{o sea } \Delta = x(w^2 - x^2 - y^2) = 0$$



Proyección dibujada por ordenador del gráfico de la catástrofe umbílica elíptica.

Fig. 2.41

La catástrofe umbílica elíptica presenta dos ejes de conducta, por lo que se diferencia de las anteriores en que una situación catastrófica será como una línea saltando en un plano, y no como un punto sobre una línea, como sucede al tener un solo eje.

Las catástrofes umbílicas (elíptica, hiperbólica y parabólica) son de una rica geometría, por lo cual se prestan para representar modelos cualitativos

de fenómenos complejos del mundo físico. Como advierten Woodcock y Davis : "... a causa de su extrema complejidad no se prestan inmediatamente al uso relativamente "aproximado" de modelos típicos de las ciencias sociales".

La singularidad umbílica hiperbólica

$$\text{Potencial } V(x, y) = x^3 + y^3 + wxy - \mu x - \nu y$$

$$\begin{array}{ll} \text{Dimensión del espacio de fases} & = 5 \\ \text{"} & \text{"} \\ \text{control} & = 3 \end{array}$$

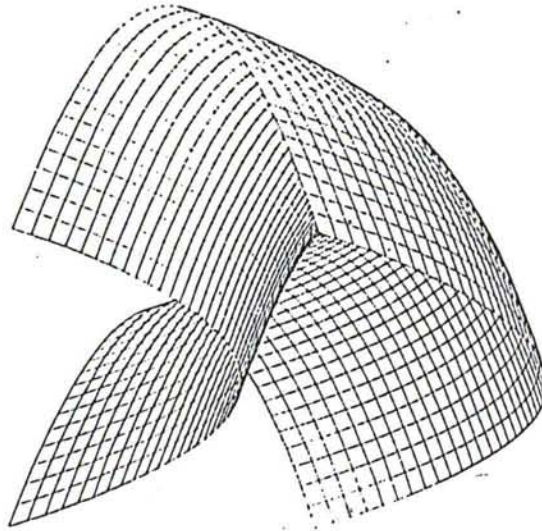
Superficie de equilibrio M

$$\begin{array}{l} 3x^2 + wy - \mu = 0 \\ 3y^2 + wx - \nu = 0 \end{array}$$

Conjunto de singularidades, S:

$$\text{con } M = 0$$

$$y \Delta = \begin{vmatrix} 6x & w \\ w & 6y \end{vmatrix} = 0 ; \quad \Delta = 36xy - w^2 = 0$$



Proyección dibujada por ordenador del gráfico de la catástrofe umbílica hiperbólica

Fig. 2.42

La catástrofe umbílica hiperbólica tiene, igual que la anterior, dos ejes de conducta y, excepto en la forma, presentan características similares, ya que en ambas el potencial tiene la posibilidad de ofrecer un solo equilibrio estable.

La mariposa

$$\text{Potencial } V(x) = x^6 + tx^4 + \mu x^3 + \nu x^2 + wx$$

$$\text{Dimensión del espacio de fases} = 5$$

$$\text{" " control} = 4 \text{ (No puede dibujar el conjunto de bifurcación).}$$

Superficie de equilibrio $M = 6x^5 + 4tx^3 + 3\mu x^2 + 2vx + w = 0$

Conjunto de singularidades S:

$$M = 0$$

$$30x^4 + 12tx^3 + 6\mu x + 2v = 0$$

t = factor mariposa.

μ = factor sesgo.

v = variable de separación.

w = variable normal.

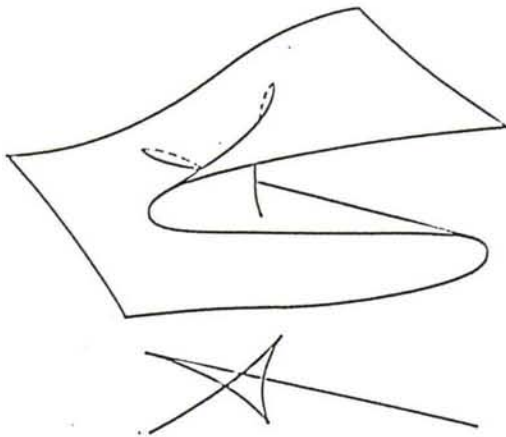
Se analiza el comportamiento del sistema, es decir, puntos de equilibrio estable e inestable, considerando la casuística con respecto a las variables y parámetros.

Por ejemplo para $t < 0$, existen tres casos:

1) $v < 0$ tres equilibrios, dos estables y uno inestable.

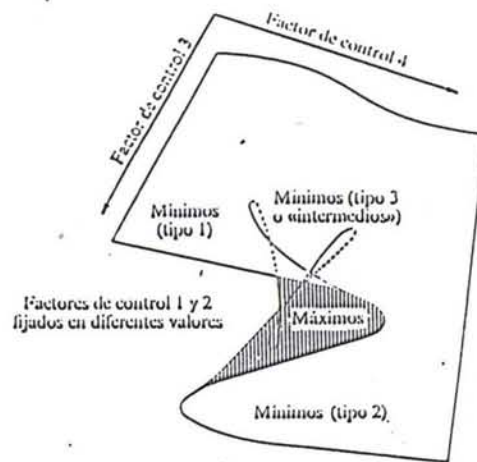
2) $0 < v < \frac{t^2}{3}$ cinco equilibrios, tres estables y dos inestables.

3) $v > \frac{t^2}{3}$ un equilibrio estable.



La superficie de equilibrio de la catástrofe en mariposa con $u=0$ y $t < 0$

Fig. 2.43



Otra imagen del mismo gráfico

Fig. 2.44

La catástrofe en mariposa tiene un cierto parecido con la de la cúspide, si no fuera por la "bolsa" en la que concurren líneas que tocan a la superficie en cinco puntos, de los que tres ofrecen mínimos estables, es decir, en esas condiciones la conducta es "trimodal". El parecido con la catástrofe en cúspide se manifiesta también en la conducta, sólo que es más compleja en la catástrofe en mariposa.

La zona de la "bolsa" presenta una superficie en tres capas distintas, siendo la intermedia de transición. Esta particularidad, como expresan Woodcock y Davis "...puede resultar de suma utilidad como modelo cualitativo, sobre todo para situaciones en las que surge un compromiso entre estados en conflicto, como puede ocurrir en las negociaciones laborales.